



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Aportaciones al estudio de la oxigenación muscular durante el ejercicio físico mediante espectrometría de infrarrojo cercano.

Dña. María José Paredes Ruiz
2020



UNIVERSIDAD DE MURCIA

Aportaciones al estudio de la oxigenación muscular durante el ejercicio físico mediante espectrometría de infrarrojo cercano.

Tesis Doctoral realizada por:

Dña. María José Paredes Ruiz

Dirigida por los doctores:

D. Ignacio Martínez González-Moro y D. Vicente Ferrer López.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar mis más sinceros agradecimientos:

En primer lugar, a todos los participantes, por su implicación en el estudio, sin ellos, este proyecto no habría sido posible.

A mí director de tesis, el Dr. Ignacio Martínez González-Moro, por todo su apoyo y cariño brindado durante estos años, por la confianza depositada en mí y por guiarme durante esta larga trayectoria académica.

A mí codirector, el Dr. Vicente Ferrer López por su dedicación durante el proyecto.

A mis hermanos Rocío y Javier, por permanecer a mi lado y ser un apoyo excepcional.

A María, mi persona favorita, mi organización y mi punto de anclaje.

A Nisa, por estar desde la distancia de forma incondicional.

Con especial mención a mis padres, José y Cati, quienes siempre han sido en todo momento mi pilar fundamental, mi gran apoyo, los que me han impulsado cada día a cumplir mis sueños, y los que nunca fallan.

ÍNDICE

RELACIÓN DE ABREVIATURAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
I.- INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.- La espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS) y sus generalidades biofísicas.	3
1.2.- Aplicabilidad médica de la NIRS.	5
1.3.- Otras aplicaciones de la NIRS.	7
1.4.- Limitaciones de la NIRS.....	8
1.5.- Saturación muscular de oxígeno (SmO ₂) y la NIRS	9
1.6.- Aplicaciones de la NIRS en la actividad físico-deportiva y la rehabilitación. ..	12
1.7.- Aplicaciones en la prevención y valoración de la fragilidad.	14
1.8.- Revisión sistemática: NIRS y ejercicio.	15
II.- JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	31
2.1.- Justificación	31
2.2.- Objetivos.....	33
III.- MATERIAL Y MÉTODO	37
3.1.- Diseño general.....	37
3.2.- Población	38
3.3.- Valoraciones antropométricas y de la composición corporal	39
3.4.- Colocación de los dispositivos Humon Hex®	43

3.5.- Prueba de esfuerzo.....	45
3.5.1 Prueba en rampa con pendiente constante (objetivos 1 y 2).	48
3.5.2 Prueba de Bruce (objetivo 3).	48
3.6.- Extracción de datos de la SmO ₂	49
3.7.- Procedimiento estadístico general para los tres objetivos	51
IV. RESULTADOS	55
4.1.- Resultados para el primer objetivo	55
4.2.- Resultados para el segundo objetivo	65
4.3.- Resultados para el tercer objetivo	69
V.- DISCUSIÓN	77
5.1.- Discusión para el primer objetivo	77
5.2.- Discusión para el segundo objetivo.....	81
5.3.- Discusión para el tercer objetivo.....	84
5.4.- Discusión global.....	87
VI.- CONCLUSIONES	91
VIII.- ANEXOS.....	109
ANEXO 1. Informe de la comisión de ética	109
ANEXO II. Consentimiento informado	110
ANEXO III. Producción científica para la Tesis Doctoral.....	111
Comunicaciones a congresos.....	111
Publicaciones aceptadas.....	112
Publicación pendiente de aceptación.....	112

RELACIÓN DE ABREVIATURAS

C- Cuádriceps

CV: Coeficiente de variación

Dif: Diferencia entre el reposo y el esfuerzo máximo

ECA's: Ensayo clínico aleatorio

FC: Frecuencia cardiaca

FC max: Frecuencia cardiaca máxima

G: Gemelos

Hb: Hemoglobina

HbO₂: Hemoglobina oxigenada

HbT: Hemoglobina total

IMC: Índice de masa corporal

MGR: Masa grasa relativa

Mb: Mioglobina

NIRS: Espectrometría de infrarrojo cercano

O₂: Oxígeno

RER: Cociente respiratorio

SD: Desviación típica

SmO₂: Saturación muscular de oxígeno

VO₂- consumo de oxígeno

VO₂ max- Consumo máximo de oxígeno

RESUMEN

Objetivos

Determinar la influencia del género, de los factores antropométricos y ergoespirométricos en la oxigenación muscular de cuádriceps y gemelos obtenida mediante NIRS en jóvenes adultos. Además, analizar las diferencias de SmO_2 de los músculos cuádriceps e isquiosurales, en varias fases de una prueba de esfuerzo máximo según el sexo. Así como analizar los valores de SmO_2 obtenidos en varias fases durante una prueba de esfuerzo máximo, en un grupo de atletas recreativos mayores de 45 años que practican Marcha Nórdica.

Metodología

Se ha dividido la metodología en tres bloques. Cada bloque corresponde a un objetivo, en el que se ha descrito a una población diferente y un método propio. Para el primer y segundo bloque, la muestra se compuso de estudiantes de la Universidad de Murcia y para el tercero, un grupo de atletas adultos recreativos. Se ha detallado una metodología común a estos tres bloques, disponiendo a los sujetos, según el estudio, varios dispositivos Humon Hex® en los músculos gemelos, cuádriceps e isquiosurales, para recoger la saturación muscular de oxígeno (SmO_2) durante una prueba de esfuerzo. En cada estudio se realizó un protocolo específico. Por un lado, el primer y segundo objetivo ejecutaron una prueba de esfuerzo en un tapiz rodante (modelo run7411) con un protocolo continuo y progresivo en rampa. De cara al tercer objetivo se efectuó un protocolo en rampa de Bruce modificado. Igualmente, se monitorizó de manera continua el registro electrocardiográfico con un electrocardiógrafo Cardioline® y se midió el consumo máximo de oxígeno (VO_2 max (Metalyzer 3B)). Además, se recogieron datos

correspondientes a la valoración antropométrica y composición corporal para relacionarlos con los valores de SmO₂.

Resultados

- La SmO₂ presenta una relación negativa con el porcentaje graso, es decir, a mayor porcentaje de grasa, menor SmO₂ y este es mayor en las mujeres.
- En el momento del esfuerzo máximo, existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en la SmO₂ del músculo isquiosural ($p < 0,05$). Además, Las correlaciones entre valores de SmO₂ y variables antropométricas muestran que el pliegue del muslo se correlaciona de forma negativa con las saturaciones de ambos músculos en el momento del máximo esfuerzo, así mismo el contorno del muslo también lo hace con la SmO₂ de los isquiosurales.
- El valor de la SmO₂ presenta una relación negativa con la frecuencia cardiaca (FC) y VO₂, disminuyendo durante el ejercicio.

Conclusiones

- La evaluación de la SmO₂ de los sujetos en el primer estudio está influenciada tanto por la ubicación del dispositivo como la masa grasa y con mayores diferencias entre varones y mujeres en los gemelos.
- Se muestra una relación inversa con la grasa del sujeto y la SmO₂. Además, esta última es diferente en los isquiosurales para hombres y mujeres en el momento de esfuerzo máximo.
- La evolución de la SmO₂ es opuesta a la de la FC y a la del VO₂, disminuyendo durante el ejercicio y aumentando en la recuperación.

Palabras clave: espectrometría de infrarrojo cercano, ejercicio, consumo máximo de oxígeno, gemelos, cuádriceps, prueba de esfuerzo máxima, marcha nórdica.

ABSTRACT

Objectives

To determine the influence of gender, anthropometric and ergo-spirometric factors on muscle oxygenation of quadriceps and twins obtained by NIRS in young adults. In addition, to analyze the differences in SmO_2 of quadriceps and hamstrings muscles, in several phases of a maximum effort test according to sex. As well as to analyze the SmO_2 values obtained in several phases during a maximum effort test, in a group of recreational athletes over 45 years old who practice Nordic Walking.

Methodology

The methodology has been divided into three blocks. Each block corresponds to an objective, in which a different population and its own method have been described. For the first and second blocks, the sample was composed of students from the University of Murcia and for the third, adult recreational athletes. A common methodology to these three blocks has been detailed, placing the subjects, according to the study, with various Humon Hex® devices in the twin, quadriceps and hamstrings muscles, to collect muscular oxygen saturation (SmO_2) during a stress test. A specific protocol was used in each study. The first and second objectives executed a stress test on a treadmill (model run7411) with a continuous and progressive ramp protocol. Meanwhile, objective three performed a modified Bruce ramp protocol. Likewise, the electrocardiographic recording was continuously monitored with a Cardioline® electrocardiograph and the maximum oxygen consumption (VO_2 max (Metalyzer 3B)) was measured. In addition, data corresponding to anthropometric assessment and body composition were collected and related to SmO_2 values.

Results

- SmO₂ has a negative relationship with the fat percentage, that is, the higher the percentage of fat, the lower the SmO₂ and this is higher in women.
- At the time of maximum effort, there are significant differences between men and women in the SmO₂ of the ischiosural muscle ($p < 0.05$). In addition, the correlations between SmO₂ values and anthropometric variables show that the thigh crease is negatively correlated with the saturations of both muscles at the moment of maximum effort, likewise the thigh contour also correlates with the SmO₂ of the ischiosurals.
- The SmO₂ value presents a negative relationship with the heart rate and oxygen consumption, decreasing during exercise.

Conclusions

- The SmO₂ assessment of the subjects in the first study is influenced by both the location of the device and the fat mass and with greater differences between males and females in the twins.
- An inverse relationship with the subject's fat and SmO₂ is shown. In addition, the latter is different in the ischiosurals for men and women at the time of maximum effort.
- The evolution of SmO₂ is opposite to that of heart rate and oxygen consumption, decreasing during exercise and increasing in recovery.

Key words: near infrared spectrometry, exercise, oxygen consumption, gastrocnemius, quadriceps, maximal exercise testing, nordic walking.

I. INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN

1.1.- La espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS) y sus generalidades biofísicas.

La espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica no invasiva y segura, que se utiliza para la evaluación de los cambios y demanda de oxígeno (O_2) producidos a nivel tisular (Özyener, 2002).

Esta técnica, obtiene los valores de oxigenación en el tejido gracias a las propiedades ópticas que presentan las moléculas al permanecer unidas o no al O_2 , ya que, por ejemplo, la hemoglobina oxigenada (HbO_2) presenta un patrón distinto de absorción a la hemoglobina desoxigenada (Hb), o la mioglobina (Mb) (Farzam et al., 2018). Por lo que, se puede obtener información acerca del estado de oxigenación del tejido, a través de la determinación de la concentración de O_2 en estas variables, mediante la luz de infrarrojo (figura 1) (Inglis et al., 2017).

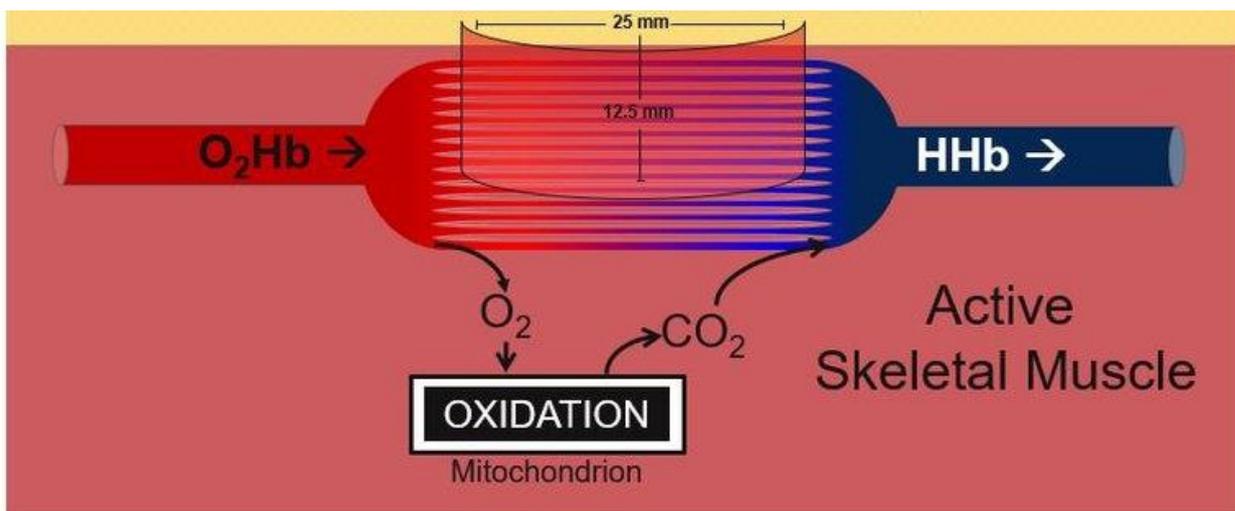


Figura 1. Esquema básico de un monitor de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) tomada de Luck. (Luck, 2019).

La luz de infrarrojo emitida por el dispositivo presenta una longitud de onda de 750 a 2600 nm. Esta luz, se propaga a diferentes intensidades por los tejidos, y a lo largo de su paso cuando son atravesados, intervendrán distintas capacidades de absorción y reflexión de los enlaces moleculares (Perri et al., 2017), como la melanina, el panículo adiposo, la HbT o Mb (Willingham et al., 2017).

Debido a los enlaces moleculares de tipo X-H, donde X corresponde a los átomos de carbono, nitrógeno u O₂ (Perri et al., 2017), la luz del infrarrojo al traspasar los tejidos produce un espectro de frecuencias entre las moléculas, derivándose una serie de vibraciones entre estas. El resto de longitudes de onda serán reflejadas, es decir, no absorbidas (Bastida et al., 2016).

De manera análoga, los resultados vienen proporcionados por un conjunto de distintas longitudes de onda que se reflejan en el tejido, y por lo tanto son recogidas y finalmente, transformadas en datos numéricos con ayuda de un microprocesador (Ramirez-Garcia et al., 2012). La posición del detector influye en la potencia de la fuente de luz de la NIRS, es decir, a mayor distancia, menor sensibilidad (Gruartmoner et al., 2014). La profundidad que alcance la luz del infrarrojo dependerá de los componentes del tejido ya mencionados (melanina, adiposidad, HbT), y de la separación entre la fuente de luz y el detector (Willingham et al., 2017).

1.2.- Aplicabilidad médica de la NIRS.

En medicina, se encuentran trabajos de distintas especialidades médicas como la cardiología, la neurología, la pediatría, o el sistema músculo-esquelético. El parámetro fisiológico que permite dar visibilidad a la NIRS dentro de la medicina es la saturación muscular de oxígeno (SmO_2). Además, esta técnica permite un *feedback* con el paciente.

El hecho de conocer el valor de la SmO_2 en el sujeto logra detectar situaciones patológicas en un momento concreto, como una isquemia puntual durante la práctica deportiva, la presencia de tumores o la vascularización de las extremidades detectando el grado de HbO_2 (Ramírez-García et al., 2012; Ikossi et al., 2006).

Dentro de las especialidades anteriormente descritas, en cardiología se han desarrollado la mayoría de los trabajos enfocados a la patología cardíaca y la cirugía. En el estudio de Karlsson et al. (2019), utilizaron la técnica de la NIRS en el interior de las coronarias, para evaluar y prevenir eventos cardiovasculares. Otro trabajo descrito por Manetos et al. (2011) fue enfocado a los pacientes con insuficiencia cardíaca. Donde asociaron la micro-circulación del músculo-esquelético en pacientes crónicos a la intolerancia al ejercicio, junto a la ineficacia ventilatoria; siendo evaluadas mediante la NIRS.

En referencia a ello, la neurología es otra de las ramas donde se emplea el uso de la NIRS. Esta se ha centrado en la medición específica de la oximetría cerebral, como sucede en el caso de Watzman et al. (2000) en el que realizaron una monitorización transcraneal no invasiva dentro de la unidad de cuidados neurointensivos. Durduran et al.

(2009) en cambio, evaluaron la concentración de HbO₂ y desoxigenada utilizando así, un instrumento de NIRS diferente para medir el flujo sanguíneo cerebral (DCS). Ambas mediciones, se realizaron en el lóbulo frontal y se compararon en la tomografía axial computarizada (TAC). En la misma línea, Zheng et al. (2013) utilizaron la NIRS para vigilar la perfusión cerebral durante una cirugía. Además, determinaron si los decrementos de oximetría cerebral durante la cirugía se podrían asociar con apoplejía, delirio o disfunción cognitiva postoperatoria (DCPO). También, corrigieron el descenso de la oximetría cerebral durante la operación, ya que detectaron la mejoría en los resultados neurológicos

En pediatría, la NIRS se introdujo posteriormente a las anteriores áreas médicas. Aquí, esta técnica tiene una gran labor en la elaboración de un posible diagnóstico precoz, así como una buena intervención terapéutica gracias a la medición de varios parámetros como la ventilación pulmonar o la perfusión sanguínea. En un estudio propuesto por Del Prado-Alcoreza et al. (2016) en el que intervinieron a unos recién nacidos con el fin de diagnosticar una disminución del flujo sanguíneo a través de la detección de ciertas variables como la asfixia perinatal, sepsis, sangrado, ventilación mecánica y fallo renal, entre otras.

En el sistema músculo-esquelético, la NIRS ha ido ampliándose con una mayor cantidad de investigaciones en los últimos años. Yeo et al. (2013), investigaron sobre el control cortical del hombro y la mano, comparando patrones de movimiento. En otro estudio de Lima y Bakker (2011), determinaron gracias a la NIRS, el estado de oxigenación periférica dentro del músculo.

1.3.- Otras aplicaciones de la NIRS.

La NIRS ha ido evolucionando y adaptándose a los diversos ámbitos en los que se puede aplicar. De entre ellos, destaca la industria agroalimentaria, la cual, se encuentra en auge debido a trabajos como los de Garnsworthy et al. (2000), en el que se realizan un análisis de los alimentos de cara a la nutrición animal. Otro tipo de estudios, es el que realizaron Singh CB et al., (2006) o Kolácková et al. (2015) en el que ejecutaron ensayos sobre el análisis del grano o de los ácidos grasos respectivamente.

Otro terreno en el que se puede ver aplicada la NIRS, es en la industria química. En ella, trata sobre el estudio de la composición química de los alimentos, tal y como se observa en el ensayo de Ramírez et al. en 2015, en el que produjeron una conversión de etanol a partir de una hierba llamada Napier genéticamente variable. Por otro lado, Darnell R et al., (2018) hicieron hincapié en la calibración de aflatoxina (toxina producida por ciertos hongos en cultivos agrícolas) en maíz.

Por último, se encuentra la aplicación en el ámbito de la farmacología, Kvisselgaard et al., (2015) utilizaron la NIRS para averiguar posibles reacciones alérgicas a fármacos; estudiando una mejora en el manejo de los pacientes con sospecha alérgica.

1.4.- Limitaciones de la NIRS.

Una vez observados todos los campos donde se pueden aplicar la NIRS, es conveniente acotar las limitaciones que presentan. Lima y Bakker (2011) mostraron que los principales inconvenientes de esta técnica son el grosor del pániculo adiposo, puesto que, a mayor profundidad, disminuye la sensibilidad de la medición, por un aumento en la distancia entre la fuente y el detector. También, la acción de la Mb en la oxigenación tisular, ya que presenta un espectro de absorción similar al de la HbT, el edema intersticial y, por último, el cambio del volumen sanguíneo a lo largo del tejido muscular, ya que puede ser distinto respecto a la muestra medida (Ferrari et al.,2004).

De otro modo, Rojas (2014), destacó la cantidad de falsos positivos que puede dar la NIRS debido a la mala colocación de los electrodos, dando lugar a mediciones erróneas. Así como la escasa profundidad (cm) que alcanza la luz en el tejido (Durduran et al., 2009).

Por último, a modo general, destacar que cualquier técnica en la que su aplicación dependa de una persona, puede dar lugar a confusión o a cierto tipo de sesgo tanto en la interpretación de los resultados, como las medidas de intervención que se empleen (Ferrari et al.,2004).

1.5.- Saturación muscular de oxígeno (SmO₂) y la NIRS

La SmO₂ es un valor (porcentaje) que se obtiene mediante una medida directa, de la relación de la hemoglobina oxigenada entre la hemoglobina total, siendo esta la suma de oxihemoglobina más desoxihemoglobina ($HbT = HbO_2 + Hb$), como muestra la figura 2. Asimismo, la SmO₂ es un equilibrio entre el aporte y el consumo de O₂ por el tejido muscular (Özyener, 2002; Humon, 2020).

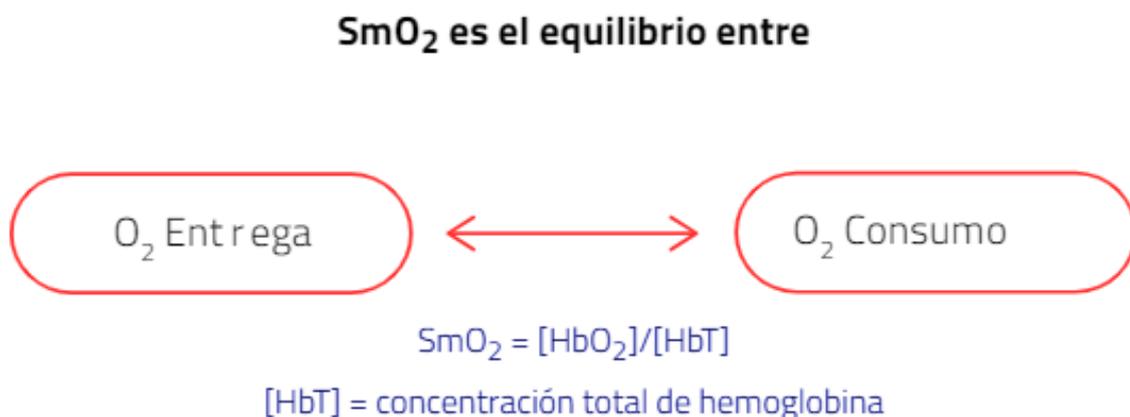


Figura 2. Esquema básico modificado de la SmO₂ tomada de Humon (Humon, 2020).

Puesto que, tanto la oxihemoglobina (HbO₂) como la desoxihemoglobina (Hb) presentan diferentes espectros de absorción dentro del rango de longitud de onda cercana al infrarrojo, con la técnica NIRS se permite medir la SmO₂ (Humon, 2020). Así, dependiendo de las distintas concentraciones de O₂ que presenten las moléculas que son atravesadas, el espectro de luz se modificará. Además, la trayectoria del haz que presenta, tiene forma de boomerang y va desde la fuente emisora pasando por los tejidos, hasta volver al detector (Scheeren et al., 2012).

Una finalidad a la hora de combinar la SmO_2 con la NIRS, es la de obtener en cada sujeto una buena correlación entre el trabajo muscular y el sistema cardiorrespiratorio (Belloti et al., 2012). Con la NIRS, se conoce si se está consumiendo a nivel muscular un grado óptimo de O_2 , de la capacidad que se puede aportar. De la misma manera, cada sujeto presenta una condición física diferente (Bhambhani et al., 1997).

Los cambios de la SmO_2 durante el ejercicio, se relacionan con la disponibilidad de O_2 en sangre y el uso de este, en los músculos que presentan cierto grado de activación (Ferrari et al., 2004). Teniendo en cuenta que el rendimiento deportivo del músculo esquelético depende del consumo de O_2 y de su metabolismo oxidativo, la NIRS resulta útil para relacionar ambos temas (la SmO_2 en el ejercicio y la NIRS) ya que las mejoras en el sistema oxidativo del cuerpo, conducen a un mayor rendimiento en las actividades deportivas (Hamaoka, 2019). Así, se comprueba que una tasa de SmO_2 favorable se asocia a una mayor capacidad de ejercicio físico (Wilkinson, 2019).

El metabolismo oxidativo o aeróbico, es un proceso bioquímico dependiente de O_2 , que convierte los combustibles biológicos como son los carbohidratos (azúcares) en trifosfato de adenosina (ATP). Igualmente, funciona como el principal mecanismo de producción de energía en reposo y durante el ejercicio aeróbico (Willingham et al., 2017). Diversos estudios han demostrado la utilidad de la NIRS para la evaluación de la capacidad oxidativa mitocondrial en el tejido muscular y las adaptaciones que se producen en él, inducidas por el ejercicio; tanto en sujetos sanos como patológicos (Ryan et al., 2014; Hamaoka, 2019).

El músculo más usado para monitorizar la SmO_2 a través de la NIRS es el cuádriceps (Dias et al., 2017) y en menor medida los gemelos (Williamson et al.; 2019). Habitualmente, se usa un solo dispositivo para estudiar la O_2 muscular, aunque hay trabajos que han analizado ambos músculos para ver la influencia de los estiramientos sobre la resistencia (Williamson 2019). Tanto cuádriceps, isquiosurales como gemelos tienen una acción directa sobre la marcha y la carrera (Jones et al., 2017), por lo que los resultados obtenidos dependerán de su capacidad de producción de energía durante las pruebas y del protocolo que se utilice (Oueslati et al., 2016; Hesford et al., 2012). Los dispositivos que miden la SmO_2 se han usado tanto en test al aire libre como en pruebas de laboratorio (Hamhoka, 2019).

1.6.- Aplicaciones de la NIRS en la actividad físico-deportiva y la rehabilitación.

Con el empleo de la NIRS se obtiene un rendimiento óptimo; con el fin de establecer un mejor plan de entrenamiento personalizado, para ello es imprescindible la ejecución de un buen trabajo por parte del deportista. Con esta intención, este sabe hasta qué punto debe esforzarse sin exceder sus límites y reducir el riesgo de lesión durante el ejercicio (Belloti et al., 2012).

Existen dos tipos de ejercicio: por un lado, aeróbico, donde se produce un mayor consumo de O₂ que el aporte que recibe y, por otro lado, anaerobio; donde se consume menos O₂ por parte del músculo, que la contribución que recibe por el sistema cardiorrespiratorio (Belardinelli et al., 1995).

La técnica NIRS está siendo ampliamente utilizada en el ámbito de la actividad físico-deportiva y la rehabilitación; donde se pretende detectar los cambios de O₂ producidos en el tejido muscular (Bastida et al., 2020). Se han realizado estudios donde dependiendo de los protocolos de entrenamiento, la O₂ muscular medida por la NIRS, varía dependiendo del grupo muscular activo (Clark et al., 2019; Ryan et al., 2014).

Habitualmente, las medidas que se recogen de manera repetida, para estimar un nivel de esfuerzo óptimo sin ser específicas son: la FC, el consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) o el nivel de lactato en sangre son (Seiler y Kjerland 2006; Esteve-Lanao et al. 2007). Estos parámetros ayudan a concretar la intensidad de la actividad, para maximizar y guiar la productividad deportiva (Farzam et al., 2018).

De otro modo, la NIRS supone una asistencia de primer nivel para ajustar el ritmo y la intensidad del trabajo. Igualmente, registra el momento en el que la musculatura se encuentra en la fase de recuperación y está preparada para el próximo transcurso fijado (Farzam et al. 2018; Snyder et al., 2009).

Los nuevos dispositivos de NIRS se asocian a pantallas de visualización (ordenador, *tablet* o reloj), que permiten conocer en tiempo real el nivel de SmO₂ que el organismo emplea durante la práctica del ejercicio físico (Humon, 2020). De esta forma el deportista puede interpretar y aplicar de forma rápida y sencilla los datos obtenidos (Peng y Bing-Hong, 2018), modificando su esfuerzo y ajustándose a su capacidad aeróbica sin sobrepasar sus límites (Pratt, 2018; Van der Zwaard, 2016).

Hay autores que han relacionado distintas variables antropométricas con la SmO₂, el área de la sección de músculo obtenida por ecografía (Gepner et al., 2019), el tejido adiposo blanco (Kuroiwa et al., 2019), pliegues cutáneos (Cournoyer et al., 2019). Al ser una técnica reciente se hace necesario indagar más sobre sus aportaciones para conseguir una interpretación más fiable de sus resultados.

1.7.- Aplicaciones en la prevención y valoración de la fragilidad.

La prevención es una parte fundamental en la práctica deportiva, y se aplica para poder reducir o evitar cualquier tipo lesión (Hübscher et al., 2010). El nivel de esfuerzo dirigido a una actividad, es muy importante a la hora de estimar el mejor rendimiento frente a esta (Bahr y Krosshaug, 2005).

Por lo que se refiere a, un buen rendimiento del sistema musculo-esquelético en cualquier deporte, esto implica un papel fundamental en fisioterapia, ciencias del deporte y medicina deportiva. El desempeño del ejercicio físico es sencillo (no requiere de equipo especial) y es bien tolerado, por lo que ha logrado una importancia progresiva en la práctica clínica. Esta reside en la valoración de la fragilidad de las personas mayores para poder implementar una buena recuperación, siendo muy utilizada (Hübscher et al., 2010).

En cuanto a la rehabilitación, es una pieza imprescindible dentro de la intervención de la fisioterapia y la medicina deportiva. Es un trabajo riguroso y sin la colaboración del deportista no se podría llevar a cabo (Langhammer y Stanghelle, 2000). Consta de programas de entrenamiento específicos para cada persona. Así, se obtendrán buenos resultados y un seguimiento seguro de cada sujeto con la medición del parámetro SmO₂ (Vasquez-Bonilla et al., 2017).

1.8.- Revisión sistemática: NIRS y ejercicio.

Con el fin de conocer la naturaleza y finalidad de la producción científica realizada sobre la NIRS y el ejercicio físico hemos realizado una revisión bibliográfica de carácter sistemático en la que se han establecido los siguientes criterios de inclusión y exclusión para obtener unos resultados.

Criterios de inclusión.

- Ser ensayos clínicos aleatorizados controlados, debido a su gran calidad metodológica, permitiendo así disminuir las diferencias entre grupos y por tanto equiparar los diversos factores que pudieran influir sobre los resultados.
- Estar publicados en una revista científica.
- Estudios publicados en inglés o español, o tener su resumen en estos idiomas.
- Estudios publicados en los últimos diez años.
- El empleo de la técnica NIRS aplicada en humanos
- Población adulta (mayor de 20 años)
- Tienen que incluir las palabras clave: espectrometría de infrarrojo cercano, consumo de oxígeno, ejercicio.

Criterios de exclusión

- Revisiones sistemáticas, meta-análisis, meta-revisiones, protocolos de estudio, guías de práctica clínica, estudios de casos, pósteres y cartas al editor.
- Ensayos clínicos aleatorizados (ECA's) eliminados por aplicar la técnica NIRS para la medición de la oximetría cerebral.

- Ensayos clínicos aleatorizados con metodología de estudio duplicada a otros trabajos.

Estrategia de búsqueda

Una vez establecidos los criterios de selección descritos anteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica en enero de 2020, en la base de datos PubMed (MEDLINE). Se emplearon como palabras clave del MeSH (Medical Subject Heading), descriptores indicados para publicaciones en revistas y libros de ciencia. Mientras que los términos “MeSH” empleados en la búsqueda bibliográfica fueron: “exercise”, “spectrometry near infrared” “oxygen consumption”. Con el objetivo de que la búsqueda fuera lo más específica posible, estos términos se combinaron entre sí mediante el operador booleano *AND*.

En la tabla 1 se muestra los resultados obtenidos. Tras la combinación de estas tres palabras clave, se consiguieron un total de 346 estudios. Mientras que, limitando la búsqueda al año de publicación, idioma, tipo de estudio y población se obtuvieron un total de 33 ECA's.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda y resultados.

BASE DE DATOS	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	ARTÍCULOS
PubMed	(("Spectroscopy, Near-Infrared"[Mesh]) AND "Exercise"[Mesh]) AND "Oxygen Consumption"[Mesh]	346 resultados totales (33 ECA's)

En la figura 3, se muestra un diagrama de flujo, los pasos que se han seguido para la obtención de los 17 ECA's finales. De estos 33 ECA's obtenidos, se leyeron título y resumen de cada uno de ellos. De los cuales solo 20 fueron seleccionados para ser leídos a texto completo, ya que ocho estudios aplicaron la técnica NIRS en el análisis de la oximetría cerebral y otros cinco se descartaron por duplicar la metodología.

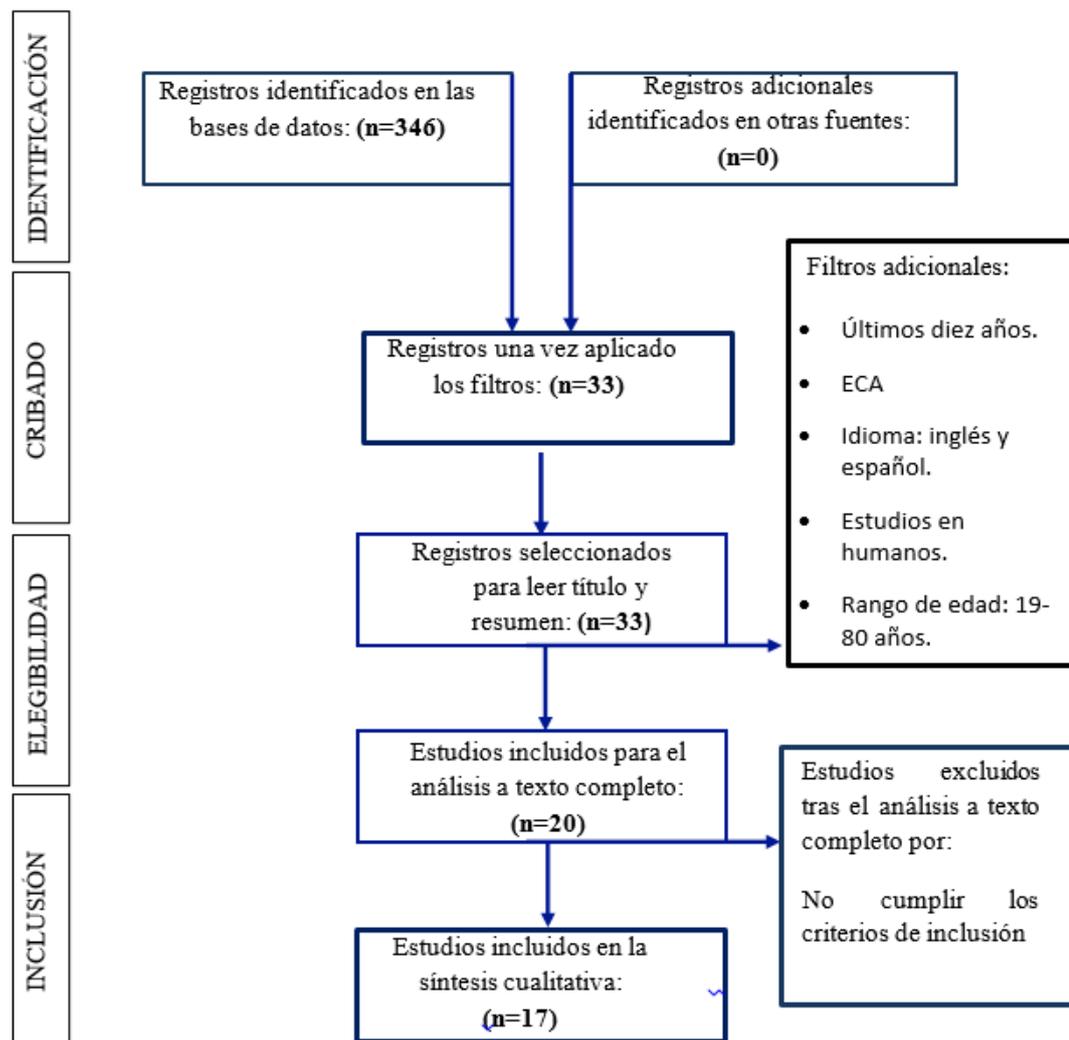


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios según las directrices PRISMA (Urrutia et al., 2010)

En la tabla 2, se han descrito los 17 ensayos clínicos, donde se han expuesto sus objetivos y el grupo muscular analizado. Durante los últimos diez años, la tendencia ha ido encaminada hacia el estudio de los miembros inferiores, sobre todo el músculo vasto lateral del cuádriceps (Archiza et al., 2018; Paradis-Deschênes et al., 2016; Smith y Billaut, 2012; Keramidas et al., 2012; Boone et al., 2012), le sigue la evaluación de los miembros superiores centrados en los músculos flexores del antebrazo (Fryer et al., 2019; Smith et al., 2016; Dascombe et al., 2013; Nagasawa, 2012). La mayoría de trabajos se han centrado en el análisis de un solo músculo comparando sus resultados de SmO₂ en dos grupos, uno de intervención aplicando un protocolo de ejercicio y otro sin intervención o placebo; exceptuando el trabajo de Archiza et al. (2018) que comparó la SmO₂ entre los músculos intercostales y el músculo vasto lateral del cuádriceps.

Tabla 2. Objetivos de los ensayos clínicos aleatorios y grupo muscular evaluado

Artículo y año	Objetivo	Grupo muscular
Abaïdia et al., 2019. https://doi.org/10.1016/j.res p.2019.05.005 1	Analizar los efectos de inducir la oxigenación muscular mediante ciclismo intermitente sobre la recuperación tras una lesión muscular inducida por el ejercicio.	Músculos Isquiosurales
Fryer et al., 2019. https://doi.org/10.1080/026 40414.2018.1554177 2	Determinar el flujo sanguíneo del músculo esquelético (mBF), el consumo de oxígeno (m $\dot{V}O_2$) y las adaptaciones de perfusión para el entrenamiento de fuerza de agarre manual de 4 semanas en situación hipóxica y normóxica, después de un desentrenamiento de 4 semanas.	Músculos flexores del antebrazo
Murrow et al., 2019. https://doi.org/10.1177/204 7487318795192 3	Evaluar el tiempo de caminata, el flujo sanguíneo muscular y la capacidad mitocondrial muscular en sujetos con arteriopatía periférica tras un programa tradicional de caminata basado en el dolor, realizar un programa de caminata guiada por la SmO ₂ .	Músculos gemelos

Tabla 2. Continuación

Artículo y año	Objetivo	Grupo muscular
Archiza et al., 2018. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340659 4	Analizar los beneficios del entrenamiento de los músculos inspiratorios (IMT) sobre la oxigenación de estos y periféricos durante una prueba de tolerancia al ejercicio máximo y sobre el rendimiento de la capacidad de esprints repetidos (RSA) en jugadoras de fútbol profesional.	Músculos intercostales versus vasto lateral.
Courtney et al., 2017. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1223329 5	Determinar el efecto un calentamiento adicional en la fase de transición entre el calentamiento en la piscina y el inicio de una carrera para optimizar el rendimiento y la velocidad en nadadores de élite.	Músculo trapecio superior derecho
Stöcker et al., 2017. https://doi.org/10.1111/cpf.1231 6	Analizar el resultado de seis intensidades distintas (40-90% de consumo máximo de oxígeno, VO_2 pico) sobre los cambios relativos en la concentración de hemoglobina oxigenada, desoxigenada y total (ΔO_2Hb , ΔHHb , ΔTHb) tras el ejercicio.	Miembros inferiores.
Paradis-Deschênes et al., 2016. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0561 7	Examinar los efectos del pre-acondicionamiento isquémico (IPC) sobre la hemodinámica muscular y la absorción de oxígeno (O_2) durante las contracciones musculares máximas repetidas.	Músculo cuádriceps: vasto lateral.
Baker et al., 2017. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00585 8	Analizar mediante la NIRS, espectroscopia de correlación difusa (DCS) y espectroscopia de infrarrojo cercano de dominio de frecuencia (FD-NIRS), si el entrenamiento supervisado mejora el flujo sanguíneo microvascular del músculo esquelético y la extracción de O_2 en pacientes con enfermedad arterial periférica.	Músculos gemelos.
Smith et al., 2016 https://doi.org/10.14814/phy2.12748 9	Determinar si la administración con N- acetil L-cisteína (NAC) afecta al flujo sanguíneo del miembro superior durante la actividad física y las características de oxigenación muscular.	Músculo flexor superficial de los dedos.
Delagarde et al., 2015. https://doi.org/10.1016/j.acvd.2015.03.004 10	Evaluar si el pre-acondicionamiento isquémico remoto (RIPC) es beneficioso para caminar en pacientes con claudicación arterial intermitente.	Miembros inferiores.

Tabla 2. Continuación

Artículo y año	Objetivo	Grupo muscular
Manfredini et al., 2015. https://doi.org/10.1159/000431339 11	Determinar si el des-acondicionamiento es un factor relevante en la etapa final de la enfermedad renal.	Miembro superior.
Dascombe et al., 2013. https://doi.org/10.1080/17461391.2011.606842 12	Examinar los efectos de usar prendas ajustadas para la parte superior del cuerpo (UBCG) sobre el rendimiento y las respuestas fisiológicas durante la simulación de kayak en aguas planas.	Músculo radial del carpo.
Keramidas et al., 2012. https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.2011.01078.x 2012 13	Investigar el efecto del entrenamiento de intervalos combinado con una presión en los muslos de +90 mmHg sobre el rendimiento máximo y submáximo en el ciclista.	Músculo cuádriceps.
Nagasawa, 2012. https://doi.org/10.1111/j.1475097x.2011.01073.x 2012 14	Examinó el efecto de la intensidad del ejercicio sobre el consumo de oxígeno muscular en los músculos flexores del antebrazo que no practican ejercicio (VO (2mf)) durante el ejercicio.	Músculos flexores del antebrazo.
Smith y Billaut, 2012. https://doi.org/10.1123/ijsp.7.1.59 15	Comparación de la oxigenación cerebral (lóbulo prefrontal) y muscular (vasto lateral) de varones y mujeres durante el ejercicio de esprints repetidos (RSE).	Músculo cuádriceps: vasto lateral.
Boone et al., 2012. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2068-z 16	Analizar la influencia de la desoxihemoglobina muscular [Hb + Mb] durante el ejercicio incremental a través de la evaluación de los cambios en el perfil después de un ejercicio previo de alta intensidad.	Músculo cuádriceps: vasto lateral.
Buchheit y Uflad, 2011. https://doi.org/10.1007/s00421-010-1654-9 17	Determinar el efecto de un programa de entrenamiento de resistencia de 8 semanas sobre el rendimiento de esprints repetidos (RS) y la tasa de re-oxigenación muscular post-sprints.	Miembros inferiores

En la tabla 3, se ha especificado las características básicas de la población: número de sujetos, sexo y edad; todas las variables medidas en los distintos ensayos y el momento de evaluación de la NIRS, antes de realizar el protocolo de ejercicios, durante, o en el momento de la recuperación. La mayoría de trabajos no superan los 20 sujetos y la tendencia de esta última década es el estudio de la NIRS en varones adultos.

Por un lado, se ha observado que gran número de estudios aplican esta técnica, en pacientes con enfermedad arterial periférica y claudicación intermitente (Murrow et al., 2019; Paradis-Deschênes et al., 2016; Baker et al., 2017; Delagarde et al., 2015). La mayor parte de los trabajos han dividido a los participantes en dos grupos de trabajo: ejercicio y control.

Por otro lado, se han medido diferentes variables que han sido correlacionadas con la SmO_2 , siendo las más repetidas: la perfusión sanguínea (Fryer et al., 2019; Dascombe et al., 2013) y el VO_2 max. (Dascombe et al., 2013; Keramidas et al., 2012).

Asimismo, muy pocos artículos miden la SmO_2 con la NIRS antes, durante y tras la realización del ejercicio (Paradis-Deschênes et al., 2016; Baker et al., 2017; Buchheit y Uflad, 2011). Generalmente, se ha evaluado la saturación del tejido muscular durante la práctica de ejercicio, en la fase de esfuerzo máxima (Abaidia et al., 2019; Murrow et al., 2019; Archiza et al., 2018).

Tabla 3. Características básicas de la población, variables y momento de la evaluación de la NIRS.

Artículo	Número de sujetos/sexo/edad	Variables medidas	NIRS
Abaídia et al., 2019. 1	10 futbolistas.	Fuerza; saltos con contramovimiento; el dolor muscular, la recuperación percibida; las concentraciones de creatina quinasa y la SmO ₂ .	Evaluación de la SmO ₂ durante la prueba.
Fryer et al., 2019. 2	9 varones.	Mbf; consumo de O ₂ y la perfusión sanguínea	Evaluación antes y después de la prueba.
Murrow et al., 2019. 3	18 sujetos (9 mujeres) con una edad media de 72 años.	Capacidad mitocondrial y flujo sanguíneo	Evaluación durante la prueba.
Archiza et al., 2018. 4	18 atletas fueron asignados a 2 grupos: SHAM (n = 8) o entrenamiento de los músculos inspiratorios: IMT (n = 10)	La oxigenación de los músculos periféricos y respiratorio; las variables ventilatorias; metabólicas respiración a respiración y la concentración de lactato en sangre.	Evaluación durante la prueba.
Courtney et al., 2017. 5	25 nadadores de élite (50% mujeres) con una edad media de 20 ± 3 años. Se dividieron en dos grupos: ejercicio y control.	Temperatura; concentración local total de hemoglobina y prueba de velocidad.	Durante la prueba
Stöcker et al., 2017. 6	17 sujetos varones.	Hemoglobina oxigenada ($\Delta O_2 Hb$) y hemoglobina desoxigenada (ΔHHb) $\Delta HHb / \Delta VO_2$	Durante la prueba y tras el ejercicio.
Paradis-Deschênes et al., 2016. 7	10 varones entrenados en fuerza.	Cambios en la desoxihemoglobina, expresados como porcentaje de oclusión arterial, y las concentraciones de hemoglobina total ([THb])	Reposo, durante el ejercicio y en la recuperación.
Baker et al., 2017. 8	64 pacientes con enfermedad arterial periférica(EAP).2 grupos: ejercicio y control	Flujo sanguíneo; extracción de O ₂ ; índice tobillo/brazo; tiempo máximo de caminata (PWT)	Medición de la SmO ₂ : reposo, ejercicio máximo y recuperación.

Tabla 3. Continuación

Artículo	Número de sujetos/sexo/edad	Variables medidas	NIRS
Smith et al., 2016 9	8 varones sanos con una edad media de $21,8 \pm 1,2$ años. 2 grupos: NAC o placebo (PLA).	Muestras de sangre venosa para determinar equilibrio redox del plasma; flujo sanguíneo de la arteria braquial (BABF) y extracción de O_2 .	Medición de la SmO_2 : reposo, y recuperación.
Delagarde et al., 2015. 10	20 pacientes con claudicación intermitente. 2 grupos: RIPC y placebo.	Saturación de O_2 y saturación muscular de O_2 .	Medición siempre en las situaciones de control y los procedimientos de RIPC.
Manfredini et al., 2015. 11	59 pacientes en diálisis: 31 pacientes tenían la diálisis en el brazo activo (grupo de ejercicio) y 28 en el brazo de control (sin intervención).	El consumo máximo de oxígeno en reposo ($rmVO_2$) se correlacionó con la frecuencia cardíaca también en reposo. Otras variables independientes: la edad, la época de diálisis, los parámetros bioquímicos, vasculares y nutricionales.	Antes de la diálisis.
Dascombe et al., 2013. 12	5 hombres y 2 mujeres con una edad media de 20 años.	El lactato en sangre y la correlación de las medidas del flujo sanguíneo y la oxigenación con la FC.	Durante el protocolo de intervención.
Keramidas et al., 2012. 13	20 individuos no entrenados fueron asignados a un grupo de entrenamiento o control	VO_2 max; potencia pico y oxigenación muscular.	Durante el protocolo.
Nagasawa, 2012. 14	7 sujetos varones sanos.	VO_2 max.	En reposo y durante el ejercicio.
Smith y Billaut, 2012. 15	10 varones y 10 mujeres.	El trabajo mecánico; la saturación de O_2 arterial (SpO_2); O_2Hb cerebral y muscular y la Hb.	Al finalizar el protocolo.
Boone et al., 2012. 16	10 estudiantes físicamente activos.	Hb; EMG de superficie y la frecuencia de potencia media (MdPF) se expresaron en función de la tasa de trabajo (W).	Durante el ejercicio y en la recuperación.
Buchheit y Uflad, 2011. 17	18 varones entrenados (34 ± 5 años).	Velocidad aeróbica máxima (MAS); tasa de reoxigenación muscular.	Antes, durante y en la recuperación del ejercicio.

En la tabla 4, se muestra el protocolo que los autores diseñaron para su estudio, así como las actividades realizadas y otras técnicas a parte de la NIRS. Los protocolos tuvieron una duración superior o igual a cuatro semanas (Fryer et al., 2019; Murrow et al., 2019; Archiza et al., 2018; Keramidas et al., 2012). Sin embargo, otros trabajos no tuvieron una duración mayor a dos días (Abaïdia et al., 2019; Paradis-Deschênes et al., 2016).

Las actividades están enfocadas generalmente hacia la evaluación de los miembros inferiores. La actividad que más se repite en los diferentes ensayos, es la caminata en la cinta de correr con o sin rampa (Murrow et al., 2019; Baker et al., 2017; Delagarde et al., 2015; Boone et al., 2012).

Por último, nos encontramos con diversas técnicas diferentes a la NIRS, como, por ejemplo, en el estudio de Baker et al. (2017) utilizaron espectroscopia de correlación difusa (DCS), espectroscopia de infrarrojo cercano de dominio de frecuencia (FD-NIRS) o índice tobillo-brazo (ITB). Smith et al. (2016) aplicaron la ecografía Doppler o el trabajo de Delagarde et al. (2015) con el manguito de tensión arterial oximetría transcutánea.

Tabla 4. Método descrito de los distintos estudios, actividad realizada y otras técnicas.

Artículo	Protocolo de intervención	Actividad	Otras técnicas realizadas
1 Abaídia et al., 2019.	Los sujetos realizaron 3 pruebas: excéntricas de isquiosurales (75 repeticiones). Al día siguiente, se realizó un ejercicio de ciclismo intermitente de 12 minutos (15 seg. de trabajo y 15 seg. de descanso). Por último, se evaluó la fuerza, mediante pruebas de saltos, con una y dos piernas.	Excéntricos Ciclismo Test de salto	-
2 Fryer et al., 2019.	Protocolo de 4 semanas en condiciones hipóxicas, con adaptaciones de perfusión para el entrenamiento de la prueba y 4 semanas durante 30 minutos en condiciones hipóxicas y normóxicas.	Agarre manual	-
3 Murrow et al., 2019.	12 semanas, tres veces/semana, con 40 minutos de duración cada sesión durante, 2 grupos: entrenamiento guiado por oxígeno (NIRS), versus entrenamiento tradicional basado en el dolor.	Caminata en la cinta de correr de Garner	-
4 Archiza et al., 2018	Intervención de 6 semanas y dos tipos de pruebas: ejercicio máximo incremental y otra prueba hasta el agotamiento del participante.	La capacidad de ejecutar esprints repetidos (RSA)	Prueba del lactato en sangre y analizador de gases respiratorios.
5 Courtney et al., 2017.	El protocolo consistió en un calentamiento en piscina estandarizado más una fase de transición fuera de esta (30 minutos).	Fase de transición activa con una serie de ejercicios más la chaqueta con los elementos calefactores integrados (grupo ejercicio) o fase de transición sentados con una chaqueta normal (grupo control).	Uso de un chaqueta de chándal con elementos calefactores integrados para mantener de forma pasiva el calor.

Tabla 4. Continuación

Artículo	Protocolo de intervención	Actividad	Otras técnicas realizadas
Stöcker et al., 2017. 6	Un diseño experimental que consistió en series de 3 minutos, aumentando cada vez la intensidad del ejercicio, separadas por descansos de 5 minutos.	Cicloergómetro	-
Paradis-Deschênes et al., 2016. 7	El protocolo consistió en 5 series de 5 extensiones voluntarias máximas de rodilla de la pierna derecha en un dinamómetro isocinético, precedidas por un CIP del miembro inferior derecho (3 × 5 ciclos de compresión mínima / reperfusión de 5 minutos a 200 mm Hg) o simulada (20 mm Hg).	Extensiones activas máximas de rodilla en un dinamómetro isocinético.	-
Baker et al., 2017. 8	Los pacientes del grupo de ejercicio recibieron 3 meses de actividad física supervisado.	Caminata en una cinta rodante hasta la aparición de claudicación en los miembros inferiores.	Espectroscopia de correlación difusa (DCS); espectroscopia de infrarrojo cercano de dominio de frecuencia (FD-NIRS); índice tobillo-brazo (ITB).
Smith et al., 2016 9	Dos pruebas de ejercicio al 80% de la potencia máxima hasta el agotamiento. Los sujetos consumieron por vía oral PLA o NAC 60 minutos previo a la prueba.	Fuerza de agarre	Ecografía Doppler
Delagarde et al., 2015. 10	Los pacientes se sometieron a dos pruebas en una cinta rodante. Con 7 días entre la primera y la segunda prueba. Segunda prueba se cruzaban los pacientes.	Caminar en una cinta rodante	Manguito de tensión arterial Oximetría transcutánea
Manfredini et al., 2015. 11	Un programa de ejercicio domiciliario sobre la capacidad funcional de estos pacientes.	-	-
Dascombe et al., 2013. 12	Kayakistas de élite completaron una prueba incremental de seis pasos seguida de una prueba de rendimiento máximo de cuatro minutos tanto con UBCG como en el control (sin camisa o sujetador deportivo).	Simulación del Kayak.	Prendas ajustadas para la parte superior del cuerpo (UBCG).

Tabla 4. Continuación

Artículo	Protocolo de intervención	Actividad	Otras técnicas realizadas
Keramidas et al., 2012. 13	Ambos grupos entrenaron 3 días a la semana, durante 6 semanas con la misma intensidad relativa. El protocolo se realizó antes y después formación.	Una prueba de ejercicio incremental hasta el agotamiento, una prueba de potencia constante de 6 min al 80% del VO (2max) y una prueba de potencia constante máxima hasta el agotamiento.	-
Nagasawa, 2012. 14	Realizaron ejercicio en bicicleta durante 60 minutos al 30% del consumo máximo de oxígeno (% VO (2 máx.)) y 30 minutos al 50% del VO (2 máx.).	Ejercicio en bicicleta.	-
Smith y Billaut, 2012. 15	El protocolo comenzó con 10 esprint (10 segundos de duración y 30 segundos de descanso) en condiciones normóxicas (NM: 21% FIO ₂) e hipóxicas agudas (HY: 13% FIO ₂).	Sprints se realizó por parejas: hombre y mujer.	Oximetría de pulso NIRS para estimación de O ₂ cerebral.
Boone et al., 2012. 16	Dos ejercicios de rampa incremental, precedidos en una ocasión por ejercicio incremental de brazos y en otra ocasión por ejercicio incremental de piernas que sirvió como prueba de referencia (RT).	Ejercicios en rampa incremental.	-
Buchheit y Uflad, 2011. 17	Se evaluó la velocidad aeróbica máxima (MAS), 10 km de carrera y RS (2 x 15 s de velocidad de ida y vuelta, intercalados con 15 s de recuperación pasiva) antes y después de la intervención de entrenamiento.	Carrera.	-

II. JUSTIFICACIÓN,
HIPÓTESIS Y
OBJETIVOS.

II.- JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1.- Justificación

Teniendo en cuenta el apartado anterior observamos que la NIRS ha sido ampliamente utilizada en el campo de las Ciencias de la Salud y de un modo más específico en el ámbito de las actividades relacionadas con el ejercicio físico.

Recientemente, han surgido en el mercado una serie de dispositivos accesibles que aplican dicha técnica con el objetivo de incrementar el rendimiento tanto en el entrenamiento como en la preparación física. Además, pueden destinarse a cualquier tipo de población.

No obstante, es pertinente seguir investigando con el fin de hallar los elementos fundamentales de las bases de la espectrometría de infrarrojo cercano, y poder responder a cuestiones primarias como si se obtienen los mismos valores en hombres y mujeres; si las variables antropométricas influyen sobre sus valores; si los cambios observados aparecen en ambos sexos o están relaciones con la composición corporal; o incluso si la SmO_2 es similar en diversos grupos musculares.

En medicina deportiva, la NIRS contribuye de manera positiva a la evaluación de la SmO_2 , de modo que permite trabajar de forma inalámbrica, lo que supone una mayor efectividad a la hora de asociar los resultados a una prueba de esfuerzo.

De este modo, el interés de este trabajo radica en aumentar los conocimientos sobre los aspectos básicos de la información que proporciona la NIRS acerca de los diversos músculos que actúan en ejercicios físicos concretos y en el análisis de los factores personales como el peso, la talla, porcentaje de masa grasa entre otros, que pueden influir sobre ellos.

Por todo ello, planteamos como hipótesis de nuestro trabajo la siguiente:

La SmO_2 en los músculos de la extremidad inferior mantiene una relación significativa con las variables antropométricas y ergoespirométricas y existen diferencias vinculadas al sexo.

2.2.- Objetivos

- Determinar la influencia del género, de los factores antropométricos y ergoespirométricos en la oxigenación muscular de cuádriceps y gemelos obtenida mediante NIRS en jóvenes adultos.
- Analizar las diferencias de SmO_2 de los músculos cuádriceps e isquiosurales, en varias fases de una prueba de esfuerzo máximo según el sexo.
- Analizar los valores de SmO_2 obtenidos en varias fases durante una prueba de esfuerzo máximo, en un grupo de atletas recreativos mayores de 45 años que practican Marcha Nórdica.

III. MATERIAL Y MÉTODO

III.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.- Diseño general

Este trabajo se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia (anexo I).

Para cada uno de los objetivos se ha utilizado una población diferente y un método propio. Por lo que podemos considerar que este trabajo está formado por tres estudios o bloques. Los tres bloques tienen en común que se les ha colocado a los sujetos participantes varios dispositivos Humon Hex® para recoger la SmO₂ durante una prueba de esfuerzo específica. Así mismo se recogieron datos correspondientes a la valoración antropométrica y composición corporal para relacionarlos con los valores de SmO₂.

En cada uno de los estudios se realizó, en primer lugar, la cumplimentación de los procedimientos administrativos. En segundo lugar, la medición de las variables antropométricas. Tercero, la colocación de los dispositivos Humon Hex® y cuarto la realización de la prueba de esfuerzo.

3.2.- Población

Para el desarrollo de cada uno de los objetivos se empleó a diferentes poblaciones. Para el objetivo 1 y 2 el grupo se compuso de estudiantes jóvenes de la Universidad de Murcia. Para el objetivo 3 se formó con adultos practicantes de Marcha Nórdica. En la tabla 5 mostramos para cada objetivo la distribución de los sujetos en función del sexo y edad.

Tabla 5. Distribución de la población de cada objetivo en función del sexo y edad.

OBJETIVO	VARONES	MUJERES
1	10 (21,5±0,71 años)	10 (21,10±0,74 años)
2	10 (21,9±1,60 años)	10 (21±0,94 años)
3	18 (50,06±6.64 (años)	12 (53.75±2.18 años)

A todos los sujetos, se les explicó tanto el objetivo y el procedimiento del estudio en el cual iban a participar, entregándoles un documento informativo. Además, se les recogió el consentimiento informado por escrito (anexo II). A continuación, cada participante rellenó un cuestionario con sus antecedentes médico-deportivos, con el fin de establecer la ausencia de criterios de exclusión y su aptitud para las pruebas de esfuerzo.

Se establecieron como criterios de inclusión en el primer y segundo objetivo: ser adultos jóvenes sanos de entre 18 y 30 años y para el tercer objetivo ser mayor de 40 años y tener un año mínimo de experiencia en Marcha Nórdica. Los criterios de exclusión fueron comunes para todos los grupos: padecer enfermedades y/o lesiones que impidan la realización de la prueba de esfuerzo.

3.3.- Valoraciones antropométricas y de la composición corporal

Todas las mediciones antropométricas fueron realizadas por el mismo explorador suficientemente entrenado y siguiendo el protocolo del Grupo Español de Cineantropometría (Cabañas y Esparza, 2009).

De cada sujeto se adquirió la talla (tallímetro SECA®) en bipedestación, sin zapatos y con ropa ligera. El sujeto se colocó de forma estática de espaldas al tallímetro, la cabeza en el plano de Frankfort y los brazos relajados a ambos lados del tronco.

La masa corporal total se halló con una báscula de bioimpedancia (InBody 120®). De nuevo se midió en bipedestación, sin zapatos y con ropa ligera. Preliminarmente a la medición se le explicó a cada participante los pasos a seguir y la preparación previa para asegurar la calidad de los resultados, siguiendo así las indicaciones del fabricante (Inbody, 2014). Además, antes de subirse a la báscula se pidió a cada participante, que se limpiaran con una solución alcohólica las palmas de las manos y las plantas de los pies. Una vez sobre la báscula los participantes sujetaron con ambas manos el manillar del dispositivo colocando los pulgares sobre el electrodo anterior ovalado, los otros cuatro dedos envuelven el electrodo trasero, los brazos estirados sin tocar el cuerpo, los muslos ligeramente separados sin tocarse y los pies alineados sobre los electrodos correspondientes. Tras introducir los datos de sexo, edad y altura en el software del equipo, este determinó la masa corporal total, y los porcentajes de masa grasa y músculo-esquelética.

Los perímetros de cintura y cadera se midieron con una cinta métrica inextensible (Holtain®). En bipedestación, a cada sujeto se midió el perímetro de cintura, en el punto de menor circunferencia abdominal, y el perímetro de cadera a nivel de mayor circunferencia glútea.

Los perímetros del muslo y de la pierna se midieron con la cadera y rodilla a 90°. El del muslo se midió en el punto medio entre la espina ilíaca antero superior (EIAS) y borde superior de la rótula. El perímetro de la pierna, se midió en la zona de máxima circunferencia con la extremidad relajada.

Los pliegues cutáneos se determinaron con el muslo y pierna a 90° con un plicómetro Holtain® de precisión 0,2mm. El pliegue del muslo se obtuvo en el punto medio del muslo entre el pliegue inguinal y borde superior de la rótula y el pliegue de la pierna se midió en la parte medial de la pantorrilla en la zona de máximo contorno. En la tabla 6 mostramos las características del material utilizado y en la tabla 7 se exponen las posiciones que se utilizaron para cada una de las mediciones descritas anteriormente.

Tabla 6. Características del material

INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS	FOTO
<p>Tallímetro SEGA® modelo 213</p>	<p>- Con una altura máxima de 205 cm y precisión 1mm.</p>	
<p>Báscula de impedancia In Body® 120</p>	<p>- Mide rango de peso de 5-250 kg y estatura de 50-300 cm. - Proporciona un análisis detallado de la composición corporal.</p>	
<p>Plicómetro Holtain® metálico</p>	<p>- Mide el pliegue cutáneo de muslo y pierna para calcular el porcentaje de grasa corporal.</p>	
<p>Cinta métrica Holtain®</p>	<p>- Con 1 mm de precisión -Cinta métrica metálica e inextensible, para medir los contornos.</p>	

Tabla 7. Posiciones para las mediciones antropométricas.

MEDIDAS	FOTOS	FOTOS
TALLA		
BIOIMPEDANCIA		
CONTORNOS CINTURA Y CADERA		
CONTORNOS MUSLO Y PIERNA		
PLIEGUES MUSLO Y PIERNA		

A partir de las mediciones descritas anteriormente, para alcanzar los objetivos acerca de los valores antropométricos y de la composición corporal de las diferentes poblaciones, se obtuvieron los siguientes parámetros descritos en la tabla 8.

Tabla 8. Mediciones antropométricas e índices de composición corporal

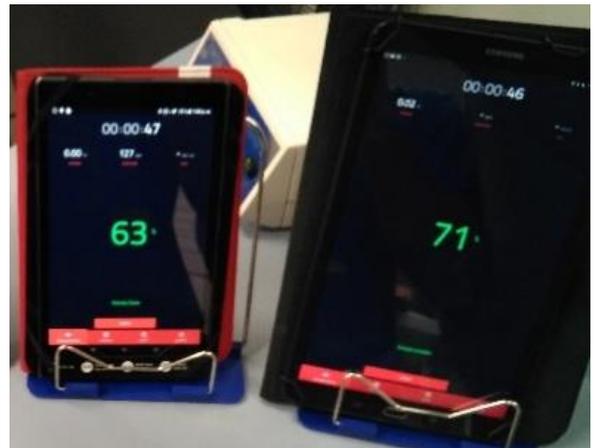
OBJETIVO	MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS	INDICES
1	Talla, peso, % masa grasa, % masa muscular, cintura, cadera, contorno muslo y pierna, pliegue muslo y pierna.	IMC MGR
2	Talla, peso, contorno muslo y pliegue muslo	IMC
3	Talla, peso	IMC

El índice de masa corporal (IMC) se calculó a partir de la fórmula de Quetelet: masa total/ altura² expresándose en kg/m². La masa grasa relativa (MGR) se determinó mediante el protocolo de Woolcott y Bergmann (2018).

Aplicando la fórmula: $MGR = 64 - (20 \times (\text{altura}/\text{cintura})) + (12 \times \text{sexo})$ (se sustituye sexo por 0 en hombres y por 1 en mujeres).

3.4.- Colocación de los dispositivos Humon Hex®

El dispositivo Humon Hex (figura 4) presenta un diseño inalámbrico y sencillo de utilizar, es resistente al agua y está compuesto por un hexágono pequeño donde contiene el software, la APP y la batería. Además, nos permite adaptarlo a cualquier zona de trabajo mediante una correa ajustable y con un cierre de velcro.



Figuras 4 y 5. Dispositivo Humon Hex[®] y tablets Samsung.

En este trabajo, se han colocado tres dispositivos Humon Hex[®] para recoger la SmO₂ de los músculos: cuádriceps, gemelos e isquiosurales. Cada uno de los dispositivos se conectó a una tablet Samsung[®] (figura 5). En la tabla 9 mostramos los dispositivos que se utilizaron para cumplir cada uno de nuestros objetivos y su colocación.

En el músculo cuádriceps, el dispositivo fue colocado en el vasto lateral del lado dominante, en la zona antero externa del muslo, en el punto medio entre el pliegue inguinal y el polo superior de la rótula

En los músculos gemelos, el Humon Hex[®] se localizó de forma latero-externa en la zona de mayor diámetro de la pantorrilla.

En los músculos isquiosurales el dispositivo fue situado en el punto medio de la parte posterior del muslo.

Tabla 9. Colocación de cada dispositivo para cada uno de los objetivos.

MÚSCULOS	OBJETIVO	IMÁGENES
Cuádriceps	1 y 2	
Gemelos	1 y 3	
Isquiosurales	2	

3.5.- Prueba de esfuerzo

Previamente, en reposo y decúbito supino, se llevó a cabo una exploración cardiovascular por parte de un médico especialista en medicina del deporte: auscultación cardíaca, tensión arterial y electrocardiograma (ECG). Posteriormente se mantuvieron los electrodos para almacenar el registro del ECG durante toda la prueba de esfuerzo. El registro de la FC y electrocardiográfico se obtuvieron con el dispositivo Cube® de Cardioline.

Para los objetivos 1 y 2 se realizó una prueba de esfuerzo en rampa con pendiente constante y aumento progresivo de la velocidad, y para el objetivo 3 una prueba de esfuerzo en tapiz rodante con el protocolo de Bruce modificado.

En ambas pruebas se colocó una mascarilla conectada al analizador de gases Metalyzer 3b®, Cortex para monitorizar de forma continua el consumo de oxígeno, la ventilación y el cociente respiratorio. También se colocó un manguito de tensión arterial para el control de la misma antes y tras la finalización del esfuerzo (Metronik BL6). Como se dijo anteriormente se monitorizó la frecuencia cardíaca y el registro electrocardiográfico. En la tabla 10 se muestra el material utilizado en la prueba de esfuerzo.

Tabla 10. Material utilizado durante la prueba de esfuerzo

INSTRUMENTOS	CARACTERÍSTICAS	IMÁGENES
<p>Tapiz rodante Runner®, modelo Run 7411</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 80 cm de ancho, 260 cm de largo y soporta 210 Kg de peso - Inclinación máxima: 20% 	
<p>Analizador de gases Cortex®, modelo Metalyzer 3B.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema diseñado para prueba de esfuerzo con análisis de gases. - Método respiración a respiración. 	
<p>Electrocardiógrafo Cardioline® CLICK ECG</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta el trazado ECG en tiempo real, con posibilidad de guardar e imprimir los registros. 	
<p>Monitor de presión arterial. Metronik BL-6®.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de la presión sanguínea. 	
<p>Pulsómetro Polar® N2965</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Indica la frecuencia cardiaca (latidos/minuto) durante el ejercicio. 	

3.5.1 Prueba en rampa con pendiente constante (objetivos 1 y 2).

La prueba de esfuerzo se realizó en un tapiz rodante (modelo run7411) con un protocolo continuo y progresivo en rampa. Se inicia a 7 km/h e incrementos de 0,1 km/h cada 6 segundos, con una fase de calentamiento previa de 2 minutos a 6 km/h. La pendiente se mantuvo constante en el 1%. La prueba finalizó cuando el sujeto ya no pudo correr más, gesticuló con la mano y comenzó la fase activa de recuperación 4 km/h durante 3 minutos y estático sobre la cinta otros 2 minutos. Se consideró que las pruebas eran máximas y válidas cuando se superaba el 85% de la frecuencia cardíaca máxima teórica (220-edad) y el cociente respiratorio (RER) era superior a 1,15 (Howley 1995).

3.5.2 Prueba de Bruce (objetivo 3).

La prueba de esfuerzo se realizó en una cinta de correr (modelo run7411®) con un protocolo en rampa de Bruce modificado con una duración máxima de 15 minutos en el que la prueba se iniciaba con una velocidad de 1,9 Km/h aumentando progresivamente la pendiente y velocidad hasta llegar a los 5,5 Km/h y 14% de pendiente. La prueba terminó cuando el sujeto ya no podía correr y hacía un gesto con la mano y comenzaba la fase de recuperación disminuyendo la velocidad (de 3 minutos a 4 km/hora). Se consideró nuevamente que las pruebas eran máximas y válidas cuando se superaba el 85% de la frecuencia cardíaca máxima teórica (220-edad) y la tasa respiratoria (RER) era superior a 1,15 (Howley 1995).

Durante la prueba de esfuerzo, los sujetos respiraron a través de una máscara conectada al analizador de gas (Metalyzer 3b®, Cortex). Todos los parámetros de intercambio de gas se midieron durante la respiración y se promediaron cada 30 segundos. El método utilizado para determinar el VO_2 máx era alcanzar la meseta de consumo de

oxígeno (Fletcher 2009). Todos se llevaron a cabo pruebas en condiciones ambientales similares.

3.6.- Extracción de datos de la SmO₂

Cada dispositivo Humon Hex® transmite toda la información sobre la oxigenación muscular recogida durante la prueba de esfuerzo a la tablet correspondiente, en la que se va visualizando en el mismo momento mediante unos dígitos dichos valores. Estos indican la evolución de la SmO₂ a lo largo de una prueba de esfuerzo se analiza de forma sincrónica con la evolución de la frecuencia cardiaca (figura 6).

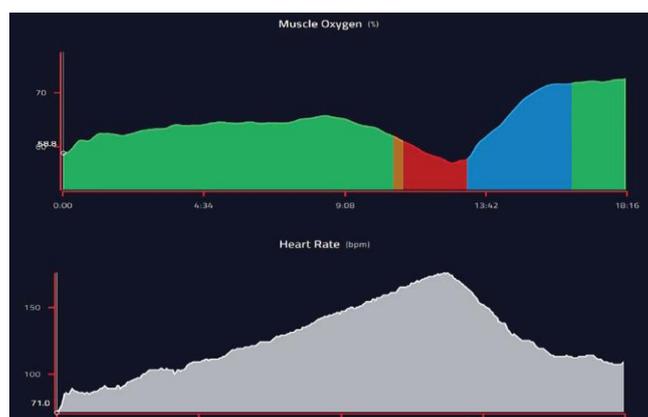


Figura 6. Curvas de FC y curva del ejercicio de SmO₂

Tras finalizar la prueba de esfuerzo, los datos obtenidos en el dispositivo, se traspasan a la aplicación correspondiente y esta crea una gráfica distinguiendo las distintas fases del ejercicio por un código de colores. La aplicación usa este para indicar que la saturación es normal (verde), se entra en la zona de fatiga (naranja), que corresponde a la recuperación de esta zona (azul) y la presencia de fatiga (rojo) (Humon, 2020).

Estos datos son grabados tanto en el disco duro de la tablet, como en la aplicación informática en la nube. Posteriormente, estos datos se descargarán y de cada uno de ellos se obtendrá la siguiente información (Figura 7).

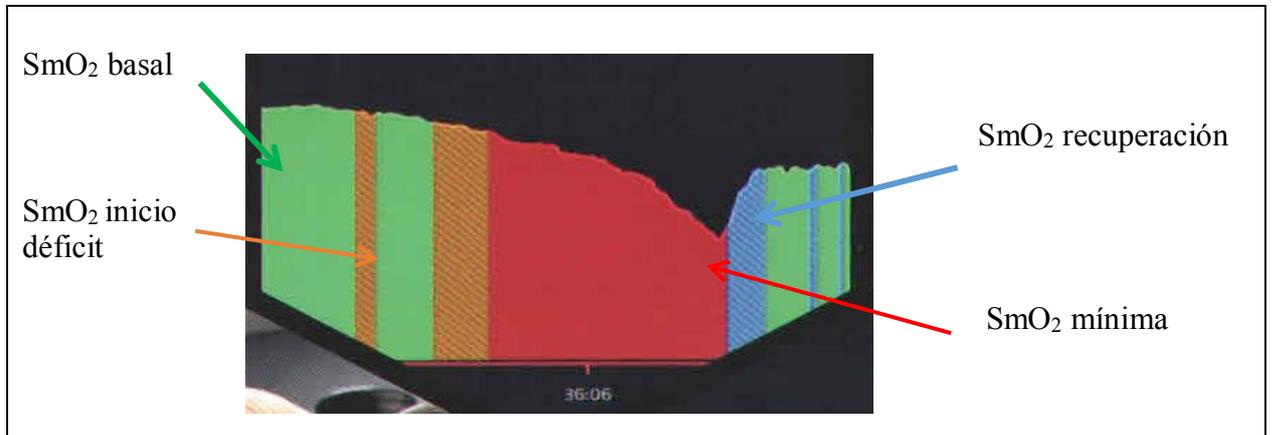


Figura 7. SmO₂ en distintas fases de una prueba de esfuerzo.

- SmO₂ basal es la saturación de oxígeno que se muestra antes de comenzar la prueba.
- SmO₂ inicio del déficit es la saturación muscular de oxígeno que se muestra con un cambio de color verde a naranja y que indica que se está entrando a una situación de déficit
- SmO₂ mínima es la saturación que aparece en el momento del esfuerzo máximo y que se corresponde con el consumo máximo de oxígeno y es el valor más bajo de la SmO₂. El dispositivo lo muestra con un valor rojo
- SmO₂ de recuperación la aplicación lo muestra con un cambio al color azul e indica que se está volviendo a valores de normalidad

3.7.- Procedimiento estadístico general para los tres objetivos

Todos los datos fueron analizados por el programa estadístico *Statistical Package for Social Science* (SPSS versión 24.0). Las variables cuantitativas se han descrito con la media, desviación típica (SD) y para el primer y tercer objetivo con el coeficiente de variación ($CV = SD/media \times 100$). Las cualitativas con la frecuencia absoluta y el porcentaje. La distribución normal de las variables fue comprobada por la prueba de Shapiro-Wilk, y la igualdad de varianzas mediante el test de Levene. La comparación de medias de variables independientes inter-grupos (hombres y mujeres) se realizó mediante la *t-student*, la comparación de las medias de variables relacionadas se hizo con el test de t-pareada. La relación entre variables se estudió mediante el Test de Pearson. Se estableció un nivel mínimo de significación del $p < 0,05$.

Se emplearon como variables independientes antropométricas para los tres objetivos la talla, el peso y el IMC. Para el primer y segundo objetivo se usaron el contorno y el pliegue anterior de muslo. Asimismo, para el primer objetivo utilizaron el porcentaje de masa grasa, el porcentaje de masa músculo-esquelética, la MGR, la cintura y el contorno y pliegue medial de la pierna. Las variables independientes ergoespiométricas para el primer y tercer objetivo fueron la frecuencia cardiaca (FC) en reposo, la FC máxima, la VO_2 máx, la velocidad máxima y el cociente respiratorio máximo (RER). Como variables dependientes comunes para los tres objetivos para los dos músculos la SmO_2 en reposo, SmO_2 en el momento de máximo ejercicio y la diferencia entre ellas (Dif. SmO_2).

IV. RESULTADOS

IV. RESULTADOS

Hemos dividido los resultados en 3 bloques o apartados. Cada uno de los apartados corresponde con un objetivo.

4.1.- Resultados para el primer objetivo

El primer objetivo determina la influencia del género, factores antropométricos y ergoespiométricos en la oxigenación muscular de cuádriceps y gemelos obtenida mediante NIRS en jóvenes adultos.

Han participado 10 mujeres y 10 varones con una edad media de 21,3 años, en la tabla 11 mostramos los valores medios, la desviación estándar (SD) y el coeficiente de variación (CV) de cada variable antropométrica para varones y mujeres y la significación estadística de sus diferencias. Se observan diferencias de todas las variables, excepto en la edad, el IMC y los perímetros de muslo y pierna.

Tabla 11. Comparación de valores antropométricos entre varones y mujeres.

	Varones (n=10)			Mujeres (n=10)			Diferencias	
	Media	SD	CV %	Media	SD	CV %	T-Student	P-valor
Edad (años)	21.50	0.71	3.29	21.10	0.74	3.50	1.238	0.232
Altura (cm)	174.45	5.83	3.34	158.90	9.12	5.74	4.544	0.000*
Peso (Kg)	67.41	8.17	12.11	58.65	7.05	12.02	2.568	0.019*
% Masa grasa	16.55	3.60	21.73	30.19	6.12	20.28	-6.074	0.000*
% Masa muscular	47.14	1.84	3.90	38.34	3.46	9.03	7.103	0.000*
Cintura (cm)	76.50	4.40	5.76	69.05	5.46	7.91	3.359	0.003*
IMC (Kg/m ²)	22.10	2.02	9.12	23.43	3.90	16.64	-0.957	0.351
MGR (%)	18.29	2.41	13.15	29.79	3.62	12.17	-8.362	0.000*
Pliegue pierna (mm)	8.06	3.15	39.04	17.50	5.38	30.75	-4.788	0.000*
Pliegue muslo (mm)	19.74	6.04	30.61	33.46	6.15	18.39	-5.030	0.000*
Perímetro pierna (cm)	36.60	2.46	6.72	34.90	1.60	4.57	1.834	0.083
Perímetro muslo (cm)	48.48	3.46	7.15	48.55	3.84	7.91	-0.043	0.966

SD: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, IMC: índice de masa corporal, RFM: masa grasa relativa

En la tabla 12 exponemos los valores ergoespirométricos y la SmO₂ de cuádriceps y gemelos separados por sexo y sus diferencias. Asimismo, aparece dividido en la situación de reposo, ejercicio máximo y declive. La SmO₂ de ambos músculos en reposo es mayor en los varones que en las mujeres. Al máximo esfuerzo, la SmO₂ del cuádriceps es similar en ambos grupos, y en los gemelos la SmO₂ es menor en las mujeres. Las mayores pérdidas de SmO₂ durante el ejercicio se producen en los gemelos de las mujeres (38,22%). En el cuádriceps, la SmO₂ disminuye más en los varones que en las mujeres y en la pantorrilla ocurre lo contrario, observándose una importante variabilidad en ambos grupos.

Tabla 12. Comparación de los valores ergoespirométricos y SmO₂ entre sexos.

		Varones (n=10)			Mujeres (n=10)			Diferencias	
		Media	SD	CV %	Media	SD	CV %	T-Student	p-valor
Reposo	FC (lat/min)	90.70	19.31	21.29	99.80	12.63	12.66	-1.247	0.228
	C SmO ₂ (%)	62.70	10.03	16.00	54.50	7.93	14.56	2.027	0.058
	G SmO ₂ (%)	66.30	4.97	7.49	50.80	16.84	33.15	2.792	0.012*
Máximo esfuerzo	FC (lat/min)	19.89	6.58	192.89	179.60	26.15	14.56	1.479	0.157
	VO ₂ (ml/Kg/min)	41.50	6.00	41.50	40.40	5.87	14.54	0.414	0.684
	Velocidad (Km/h)	13.23	2.05	13.23	13.34	1.87	14.02	-0.125	0.902
	C SmO ₂ (%)	47.70	9.53	47.70	44.90	8.65	19.26	0.688	0.500
	G SmO ₂ (%)	53.40	11.98	53.40	31.70	16.29	51.39	3.393	0.003**
Disminución de la saturación.	C Dif. SmO ₂ (%)	23.40	12.66	54.08	17.60	10.01	56.87	1.137	0.270
	G Dif. SmO ₂ (%)	19.73	16.08	81.53	38.22	19.27	50.42	-2.330	0.032*

Nota. FC= frecuencia cardiaca, C=cuádriceps, G= Gemelos, Dif= diferencia entre el reposo y el máximo esfuerzo

Al comparar los valores medios de SmO_2 entre el cuádriceps y los gemelos se observan los datos que mostramos en la tabla 13 que, en reposo, antes del ejercicio, en la población total no hubo diferencias significativas ($t(19) = 0,18$, $p = 0,986$) y en el momento del esfuerzo máximo tampoco ($t(19) = 0,868$, $p = 0,396$). No hubo diferencias en los varones, en reposo ($t(9) = -0,95$, $p = 0,394$) ni en el ejercicio máximo ($t(9) = -0,984$, $p = 0,351$). En las mujeres, no hay diferencias en reposo ($t(9) = 0,946$, $p = 0,369$) pero sí en el ejercicio máximo ($t(9) = 2,617$, $p = 0,028$). En las mujeres las diferencias entre las pérdidas en la SmO_2 de ambos músculos en el esfuerzo máximo son también significativas ($t(9) = -3,063$, $p = 0,014$).

Tabla 13. Diferencias de la SmO_2 en la población total y diferenciado según el sexo

		T	Grados libertad	significación
Población total	Reposo	0,018	19	0,986
	Máximo	0,868	19	0,396
	Dif reposo-máximo	-1,631	19	0,119
Varones	Reposo	-0,895	9	0,394
	Máximo	-0,984	9	0,351
	Dif reposo-máximo	0,615	9	0,554
Mujeres	Reposo	0,946	9	0,369
	Máximo	2,617	9	0,028
	Dif reposo-máximo	-3,063	9	0,014

Las correlaciones entre los valores de reposo de SmO_2 y las variables antropométricas se muestran, en la tabla 14, para toda la población y separadas por músculo y sexo. La SmO_2 de ambos músculos está relacionada positivamente con la altura, la masa corporal, el porcentaje de masa muscular y el contorno de la cintura, y negativamente con el porcentaje de masa grasa, MGR y pliegues cutáneos. La relación negativa del porcentaje de grasa con la saturación de oxígeno es más evidente en las mujeres.

Tabla 14. Correlaciones entre las variables antropométricas y la SmO₂ de cada músculo en reposo.

		SmO ₂ CUADRICEPS			SmO ₂ GEMELOS		
		Todos	Hombres	Mujeres	Todos	Hombres	Mujeres
Altura (cm)	r Pearson	0.549	0.517	0.308	0.512	-0.291	0.294
	p-valor	0.012*	0.126	0.387	0.021*	0.415	0.410
Peso (Kg)	r Pearson	0.581	0.702	0.116	0.166	-0.275	-0.171
	p-valor	0.007**	0.024*	0.751	0.484	0.442	0.637
% Masa grasa	r Pearson	-0.391	0.322	-0.376	-0.665	-0.160	-0.513
	p-valor	0.088	0.365	0.284	0.001**	0.660	0.129
% Masa muscular	r Pearson	0.445	-0.218	0.442	0.671	0.137	0.528
	p-valor	0.049*	0.544	0.201	0.001**	0.706	0.116
Cintura (cm)	r Pearson	0.480	0.656	-0.047	0.190	-0.013	-0.306
	p-valor	0.032*	0.039*	0.898	0.422	0.972	0.389
IMC(Kg/m ²)	r Pearson	0.018	0.565	-0.136	-0.332	-0.154	-0.280
	p-valor	0.939	0.089	0.708	0.153	0.672	0.433
RFM (%)	r Pearson	-0.367	0.400	-0.251	-0.634	0.133	-0.502
	p-valor	0.112	0.252	0.485	0.003**	0.715	0.139
Pliegue del muslo (mm)	r Pearson	-0.475	-0.071	-0.475	-0.587	0.024	-0.459
	p-valor	0.034*	0.845	0.165	0.007**	0.948	0.182
Pliegue de la pierna (mm)	r Pearson	-0.368	0.053	-0.182	-0.459	-0.183	-0.072
	p-valor	0.110	0.885	0.615	0.042*	0.612	0.844
Perímetro muslo (cm)	r Pearson	0.275	0.534	0.063	-0.148	0.059	-0.255
	p-valor	0.241	0.112	0.863	0.534	0.871	0.477
Perímetro pierna (cm)	r Pearson	0.633	0.636	0.413	0.212	-0.317	0.129
	p-valor	0.003**	0.048*	0.236	0.369	0.373	0.721

Nota. IMC= índice de masa corporal, RFM= masa grasa relativa, * p<0,05. **p<0,01

La SmO_2 en el momento de máximo esfuerzo muestra las siguientes correlaciones con los valores antropométricos y ergoespirométricos (tabla 15). Se observa que las variables que corresponden al esfuerzo máximo no están relacionadas con los valores de SmO_2 excepto el cociente respiratorio (RER) con la SmO_2 de los gemelos en la población total.

La SmO_2 de los gemelos en la población total se correlaciona positivamente con la altura, el porcentaje de masa grasa, el porcentaje de masa muscular, el porcentaje de MGR, el pliegue del muslo y pierna. Además, en los varones se muestra una relación con la altura también positiva. En cambio, la SmO_2 del cuádriceps en las mujeres se correlaciona positivamente con el porcentaje de masa grasa, porcentaje de masa muscular y el pliegue del muslo.

Tabla 15. Correlaciones entre SmO₂ de cada músculo en máximo esfuerzo y las variables antropométricas y ergoespirométricas.

		SmO ₂ CUADRICEPS			SmO ₂ GEMELOS		
		Todos	Varones	Mujeres	Todos	Varones	Mujeres
Altura (cm)	r Pearson	0.227	-0.039	0.316	0.508	-0.660	0.453
	p-valor	0.336	0.914	0.373	0.022*	0.038*	0.189
Peso (Kg)	r Pearson	0.035	0.132	-0.297	0.088	-0.470	-0.270
	p-valor	0.882	0.715	0.405	0.713	0.171	0.450
Masa grasa (%)	r Pearson	-0.424	-0.290	-0.706	-0.657	-0.067	-0.436
	p-valor	0.063	0.417	0.023*	0.002**	0.853	0.207
Masa muscular (%)	r Pearson	0.427	0.357	0.756	0.648	-0.039	0.408
	p-valor	0.060	0.311	0.011*	0.002**	0.916	0.241
Cintura(cm)	r Pearson	0.018	0.212	-0.388	0.291	-0.025	-0.237
	p-valor	0.939	0.557	0.268	0.213	0.945	0.510
IMC (Kg/m ²)	r Pearson	-0.224	0.210	-0.448	-0.432	-0.146	-0.485
	p-valor	0.343	0.560	0.194	0.057	0.687	0.155
RFM (%)	r Pearson	-0.240	0.262	-0.582	-0.652	0.386	-0.587
	p-valor	0.307	0.464	0.077	0.002**	0.270	0.074
Pliegue muslo (mm)	r Pearson	-0.295	0.225	-0.808	-0.605	-0.013	-0.431
	p-valor	0.207	0.533	0.005*	0.005*	0.972	0.213
Pliegue pierna (mm)	r Pearson	-0.395	-0.187	-0.605	-0.499	-0.149	-0.022
	p-valor	0.085	0.605	0.064	0.025*	0.682	0.952
Perímetro muslo (cm)	r Pearson	-0.071	0.145	-0.286	-0.228	0.000	-0.475
	p-valor	0.765	0.690	0.423	0.334	0.999	0.165
Perímetro pierna (cm)	r Pearson	0.246	0.210	0.193	0.025	-0.447	-0.204
	p-valor	0.297	0.560	0.594	0.508	0.196	0.571
VO ₂ max (ml/Kg/min)	r Pearson	-0.173	-0.158	-0.231	-0.009	0.389	-0.452
	p-valor	0.465	0,663	0.521	0.970	0.266	0.190
FC max (lat/min)	r Pearson	0.331	0,199	0.403	0.320	-0.573	0.275
	p-valor	0.167	0,608	0.248	0.182	0.107	0.442
V max (Km/h)	r Pearson	-0.337	-0,322	-0.354	-0.123	0.342	-0.525
	p-valor	0.146	0,364	0.315	0.604	0.333	0.120
RER	r Pearson	-0.575	-0,528	-0.790	0.234	0.411	-0.115
	p-valor	0.010*	0,144	0.007	0.336	0.272	0.751

Nota. IMC = índice de masa corporal, RFM= masa grasa relativa, VO₂ max= Consumo de oxígeno máximo, FC max = máxima frecuencia cardíaca, V= Velocidad, RER= cociente respiratorio, *p<0,05. **p<0,01

Al correlacionar la disminución de la SmO_2 (valores en reposo menos valores en máximo esfuerzo) con los valores antropométricos de cuádriceps y gemelos en la tabla 16 observamos que, en la población total es positiva con el peso y la circunferencia de la cintura. En los varones, también hay una correlación positiva con el porcentaje de grasa y una correlación negativa con el porcentaje de masa muscular. En las mujeres hay una correlación positiva con el peso y la masa grasa relativa y negativa con el porcentaje de masa muscular.

La disminución del SmO_2 de los gemelos, en la población total, sólo tiene una correlación positiva con el porcentaje de grasa y el MGR. En los varones sólo existe con la altura. Las mujeres no muestran ninguna correlación.

Cabe destacar que no hay correlaciones entre la disminución de la saturación de ambos músculos con las variables ergoespirométricas.

Tabla 16. Correlación entre la disminución de la saturación de oxígeno en cada músculo, con las variables antropométricas y ergoespirométricas.

		Disminución SmO ₂ QUADRICEPS			DisminuciónSmO ₂ GEMELOS		
		Todos	Varones	Mujeres	Todos	Varones	Mujeres
Altura (cm)	r Pearson	0.296	0.538	-0.125	-0.357	0.649	-0.360
	p-valor	0.205	0.109	0.730	0.122	0.042*	0.306
Peso(Kg)	r Pearson	0.596	0.495	0.655	-0.001	0.426	0.250
	p-valor	0.006**	0.146	0.040*	0.998	0.220	0.487
% Masa grasa	r Pearson	0.137	0.644	0.701	0.426	0.007	0.091
	p-valor	0.565	0.044*	0.024*	0.061	0.985	0.804
% Masa muscular	r Pearson	-0.081	-0.625	-0.697	-0.411	0.106	-0.041
	p-valor	0.735	0.043*	0.025*	0.071	0.771	0.911
Cintura (cm)	r Pearson	0.506	0.334	0.605	-0.294	0.009	0.005
	p-valor	0.023*	0.345	0.064	0.208	0.981	0.989
IMC (Kg/m ²)	r Pearson	0.334	0.268	0.578	0.388	0.096	0.442
	p-valor	0.150	0.455	0.080	0.091	0.793	0.201
RFM (%)	r Pearson	-0.078	0.027	0.656	0.454	-0.413	0.324
	p-valor	0.745	0.941	0.040*	0.045*	0.236	0.360
Pliegue muslo (mm)	r Pearson	-0.100	-0.279	0.699	0.433	0.012	0.201
	p-valor	0.673	0.436	0.024*	0.056	0.974	0.578
Pliegue pierna (mm)	r Pearson	0.155	0.318	0.783	0.346	0.077	-0.074
	p-valor	0.513	0.371	0.007*	0.135	0.832	0.839
Perímetro muslo (cm)	r Pearson	0.399	0.298	0.564	0.218	0.001	0.425
	p-valor	0.081	0.404	0.090	0.356	0.997	0.221
Perímetro pierna (cm)	r Pearson	0.383	0.352	0.252	0.119	0.385	0.428
	p-valor	0.095	0.319	0.482	0.616	0.273	0.217
VO ₂ max (ml/Kg/min)	r Pearson	-0.213	-0.224	-0.281	-0.030	-0.377	0.359
	p-valor	0.368	0.534	0.432	0.901	0.282	0.309
FC max (lat/min)	r Pearson	-0.248	-0.140	-0.548	-0.197	0.465	-0.143
	p-valor	0.306	0.720	0.101	0.418	0.207	0.694
V max (Km/h)	r Pearson	-0.148	-0.103	-0.205	0.047	-0.343	0.387
	p-valor	0.533	0.777	0.570	0.843	0.332	0.269
RER	r Pearson	0.401	0.375	0.368	-0.434	-0.464	-0.280
	p-valor	0.089	0.320	0.296	0.063	0.208	0.433

Nota. IMC = índice de masa corporal, RFM= Masa grasa relativa, VO₂ max= consumo máximo de oxígeno, FC max = frecuencia cardíaca máxima, V max= velocidad máxima, RER= cociente respiratorio, * p<0,05. **p<0,01

4.2.- Resultados para el segundo objetivo

Nuestro segundo objetivo es analizar las diferencias de SmO₂ de los músculos cuádriceps e isquiosurales, en varias fases de una prueba de esfuerzo máxima según el sexo.

En la tabla 17 mostramos las características básicas de la población separadas por sexo y la significación de sus diferencias.

Tabla 17. Características básicas de la población según el sexo.

	Sexo	Media	Desviación estándar	Diferencias Valor p
Edad (años)	Varones	21,90	1,60	0,142
	Mujeres	21,00	0,94	
Talla (cm)	Varones	173,51	5,68	0,000
	Mujeres	160,30	4,80	
Peso (Kg)	Varones	67,52	8,42	0,018
	Mujeres	58,48	7,06	
IMC (Kg/m ²)	Varones	22,37	2,05	0,712
	Mujeres	22,80	2,92	
Contorno Muslo (cm)	Varones	48,00	3,50	0,952
	Mujeres	48,10	3,81	
Pliegue Muslo (mm)	Varones	20,90	7,02	0,000
	Mujeres	33,80	6,30	

La saturación de ambos músculos, en las tres fases del ejercicio, separadas por sexo, se muestra en la tabla 18. Se observa que sólo existen diferencias significativas entre varones y mujeres en los valores de los isquiosurales en el ejercicio máximo.

Tabla 18. Saturación muscular en cada fase, separadas por músculo y sexo

SmO ₂	Músculo	Sexo	N	Media	Desviación estándar	Significación (p)
En reposo	Cuádriceps	Varones	10	59,40	11,58	0,121
		Mujeres	10	51,00	11,51	
	Isquiosurales	Varones	10	56,20	13,15	0,925
		Mujeres	10	56,90	18,96	
En inicio del declive	Cuádriceps	Varones	8	48,39	19,11	0,982
		Mujeres	8	48,56	9,48	
	Isquiosurales	Varones	7	62,99	9,13	0,060
		Mujeres	7	49,77	7,46	
En el máximo ejercicio	Cuádriceps	Varones	9	52,56	13,00	0,193
		Mujeres	10	43,10	16,91	
	Isquiosurales	Varones	9	57,56	13,94	**0,009
		Mujeres	10	38,20	14,61	

Al comparar en la población en conjunto la SmO₂ del cuádriceps con la de los isquiosurales observamos que no hay diferencias significativas entre músculos en ninguna de las tres situaciones (Tabla 19).

Tabla 19.- Diferencias en la SmO₂ entre músculos en la población en conjunto y separado por sexo.

	SmO ₂	Músculo	Media	N	SD	Sign. (p)	
Población total	En reposo	Cuádriceps	55,2	20	12,03	0,774	
		Isquiosurales	56,55	20	15,88		
	En inicio del declive	Cuádriceps	45,31	9	16,7	0,098	
		Isquiosurales	57,89	9	10,39		
	En el máximo ejercicio	Cuádriceps	47,58	19	15,54	0,966	
		Isquiosurales	47,37	19	17,08		
	Varones	En reposo	Cuádriceps	59,400	10	11,578	0,580
			Isquiosurales	56,200	10	13,147	
En inicio del declive		Cuádriceps	44,383	6	20,704	0,125	
		Isquiosurales	61,950	6	9,537		
En el ejercicio máximo		Cuádriceps	52,555	9	13,001	0,419	
		Isquiosurales	57,555	9	13,938		
En reposo		Cuádriceps	51,000	10	11,508	0,447	
		Isquiosurales	56,900	10	18,959		
Mujeres	En inicio del declive	Cuádriceps	47,167	3	6,047	0,493	
		Isquiosurales	49,767	3	7,458		
	En el ejercicio máximo	Cuádriceps	43,100	10	16,908	0,532	
		Isquiosurales	38,200	10	14,612		

Las correlaciones entre valores de SmO₂ y variables antropométricas muestran que el pliegue del muslo se correlaciona de forma negativa con las saturaciones de ambos músculos en el momento del máximo esfuerzo, así mismo el contorno del muslo también lo hace con la SmO₂ de los isquiosurales (tabla 20).

Tabla 20.- Correlaciones entre variables antropométricas y SmO₂.

		REPOSO		INICIO DECLIVE		EN EJERCICIO MÁXIMO	
		Cuádriceps	Isquiosurales	Cuádriceps	Isquiosurales	Cuádriceps	Isquiosurales
Edad (años)	r de Pearson	0,091	-0,237	-0,589	0,243	0,367	0,222
	Sig. (bilateral)	0,703	0,315	0,016	0,500	0,122	0,362
	N	20	20	16	10	19	19
Talla (cm)	r de Pearson	0,474	-0,005	0,126	0,380	0,409	0,230
	Sig. (bilateral)	0,035	0,985	0,641	0,278	0,082	0,344
	N	20	20	16	10	19	19
Peso (Kg)	r de Pearson	0,219	-0,155	0,079	-0,140	0,289	-0,209
	Sig. (bilateral)	0,354	0,514	0,772	0,700	0,229	0,390
	N	20	20	16	10	19	19
IMC (Kg/m ²)	r de Pearson	-0,197	-0,198	-0,019	-0,559	-0,015	-0,457
	Sig. (bilateral)	0,405	0,402	0,945	0,093	0,951	0,049
	N	20	20	16	10	19	19
Contorno Muslo (cm)	r de Pearson	-0,086	-0,170	0,071	-0,439	0,141	-0,479
	Sig. (bilateral)	0,717	0,474	0,795	0,204	0,563	0,038
	N	20	20	16	10	19	19
Pliegue Muslo (cm)	r de Pearson	-0,213	-0,033	0,199	-0,479	-0,638	-0,525
	Sig. (bilateral)	0,366	0,891	0,460	0,161	0,003	0,021
	N	20	20	16	10	19	19

4.3.- Resultados para el tercer objetivo

El tercer objetivo es analizar los valores de SmO₂ obtenidos en varias fases durante una prueba de esfuerzo máximo, en un grupo de atletas recreativos mayores de 45 años que practican Marcha Nórdica.

En la tabla 21 mostramos las características de la población separada por sexo (18 hombres y 12 mujeres); sólo se observan diferencias entre hombres y mujeres en altura, peso y VO₂ máx. Los coeficientes de variación indican que la población de cada grupo es homogénea.

Tabla 21. Características generales de la población según el sexo.

	Sexo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación(%)	Significancia (p-valor)
Edad (años)	Varones	50.06	6.64	13.3	0.074
	Mujeres	53.75	2.18	4.1	
Altura (cm)	Varones	1.78	0.05	2.8	0.000
	Mujeres	1.65	0.04	2.4	
Peso (Kg)	Varones	81.08	8.99	11.1	0.000
	Mujeres	67.31	7.16	10.6	
IMC (Kg/m ²)	Varones	25.52	2.71	10.6	0.423
	Mujeres	24.72	2.54	10.3	
% FC máxima	Varones	99.19	7.93	8.0	0.477
	Mujeres	96.79	10.29	10.6	
VO ₂ max (ml/Kg/min)	Varones	33.50	8.54	25.5	0.024
	Mujeres	27.08	4.52	16.7	

Nota. FC: frecuencia cardiaca; SmO₂: saturación muscular de oxígeno; VO₂: consumo de oxígeno

La comparativa según el sexo, en la evolución de la SmO_2 y la frecuencia cardíaca durante las cuatro etapas en las que se dividió la prueba de esfuerzo (reposo, esfuerzo máximo, inicio del declive y recuperación) no muestran diferencias significativas entre varones y mujeres (tabla 22). Del mismo modo, el porcentaje de FC obtenido en el momento de máximo esfuerzo alcanzado tampoco muestra diferencias entre sexos. Al igual que sucede en el momento de máximo esfuerzo y recuperación con el porcentaje de la SmO_2 al compararlo por sexo. En cambio, los varones muestran valores ligeramente más altos al comienzo del declive.

Tabla 22. Comparación, entre sexos, SmO₂ y frecuencia cardíaca en cada una de las fases

	Sexo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Significancia (p-valor)
% SmO ₂ Previa al ejercicio	Varones	62.73	7.42	11.8	0.665
	Mujeres	64.27	11.86	18.5	
% SmO ₂ Declive	Varones	63.11	9.10	14.4	0.432
	Mujeres	59.47	15.17	25.5	
% SmO ₂ Máximo ejercicio	Varones	59.51	9.27	15.6	0.161
	Mujeres	53.97	11.20	20.8	
% SmO ₂ Recuperación	Varones	71.54	7.98	11.2	0.413
	Mujeres	74.01	7.93	10.7	
FC (lat/min) Previa al ejercicio	Varones	75.83	10.23	13.5	0.328
	Mujeres	72.33	8.05	11.1	
FC (lat/min) Declive	Varones	143.11	29.50	20.6	0.445
	Mujeres	134.60	24.28	18.0	
FC (l/m) Máximo ejercicio	Varones	169.20	14.22	8.4	0.180
	Mujeres	160.8	18.35	12.1	
FC (lat/min) Recuperación	Varones	120.11	18.04	15.0	0.174
	Mujeres	111.00	16.68	15.0	
% FC declive/FC Máximo ejercicio	Varones	83.83	13.51	16.11	0.740
	Mujeres	82.17	10.55	12.84	
Minutos para el declive	Varones	8.63	3.16	36.58	0.072
	Mujeres	6.56	1.98	30.21	
Minutos para el máximo ejercicio	Varones	11.62	2.97	25.54	0.166
	Mujeres	10.04	1.98	19.72	
Minutos para la recuperación	Varones	5.31	3.06	57.61	0.321
	Mujeres	4.12	2.13	51.73	

Nota. FC:frecuencia cardíaca; SmO₂: saturación muscular de oxígeno; VO₂: consumo de oxígeno

La Figura 8 muestra la evolución de SmO_2 , VO_2 y FC a lo largo de la prueba de esfuerzo. El VO_2 y la FC aumentan en las primeras etapas y disminuyen durante la última fase de recuperación; La situación se invierte con SmO_2 .

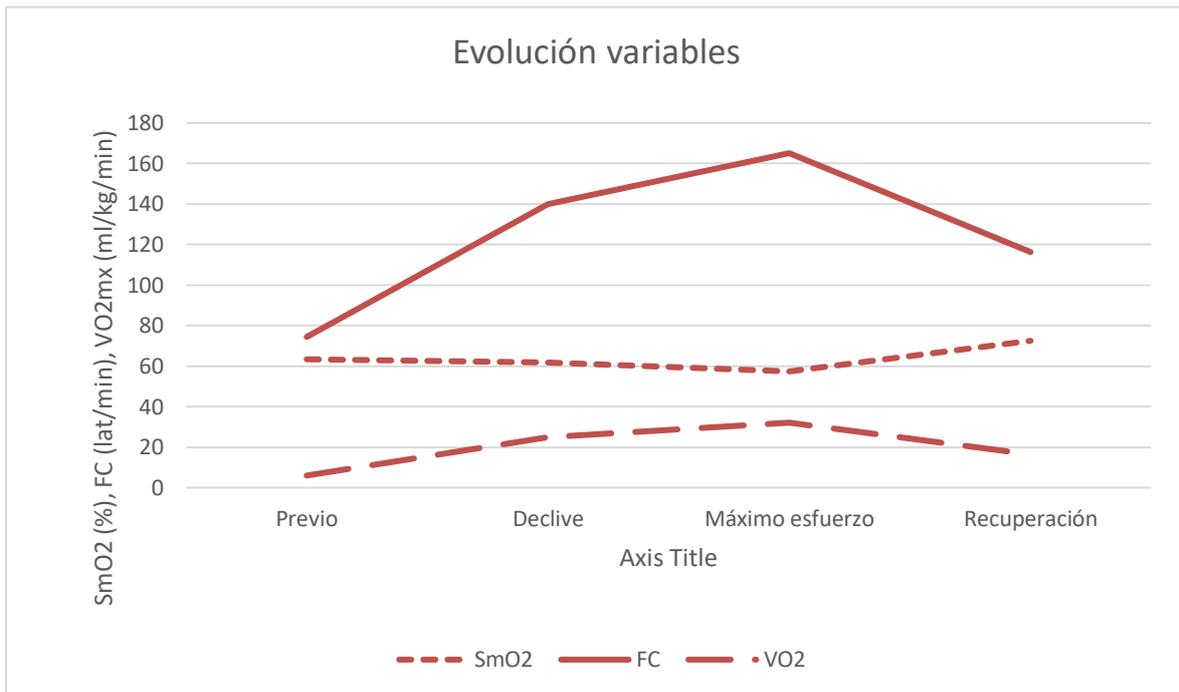


Figura 8. Evolución de la SmO_2 , Frecuencia cardiaca (FC) y (consumo de oxígeno (VO_2))

Cuando la SmO₂ se correlaciona con RER, FC y VO₂ en cada una de las fases, solo se observa una correlación significativa entre todos ellos en la fase de recuperación. En el máximo esfuerzo, la SmO₂ se correlaciona con el RER; el RER más alto se correlaciona con la SmO₂ más baja (tabla 23).

Tabla 23. Correlación entre la SmO₂ y los valores ergoespirométricos máximos.

		SmO ₂ Declive	SmO ₂ Máximo ejercicio	SmO ₂ recuperación
RER	Correlación de Pearson	-0.360	-0.454	-0.789
	Significancia (p-valor)	0.065	0.039	0.000
FC	Correlación de Pearson	-0.125	-0.021	-0.391
	Significancia (p-valor)	0.533	0.913	0.033
VO ₂	Correlación de Pearson	-0.266	-0.193	-0.486
	Significancia (p-valor)	0.180	0.315	0.006

Nota. RER: Relación del intercambio respiratorio (cociente respiratorio); FC: frecuencia cardiaca; SmO₂ saturación muscular de oxígeno; VO₂: consumo de oxígeno

Por el contrario, las correlaciones entre la SmO_2 previa al ejercicio y las otras medidas de saturación muestran valores significativos con la fase de declive de SmO_2 ($r=0,875$; $p<0,000$); con la SmO_2 en el máximo esfuerzo ($r=0,851$; $p<0,000$) y con la SmO_2 en la fase de recuperación ($r=0,816$; $p<0,000$).

Hay diferencias significativas entre la SmO_2 previa a la prueba y la obtenida con el esfuerzo máximo ($t= 6.061$; $p<0.000$), también con la SmO_2 de la fase de recuperación ($t=9.350$; $p<0.000$); pero hay diferencias con la SmO_2 obtenida al principio del declive ($t=1.995$; $p=0.056$).

La SmO_2 en el momento de la disminución no mantiene una correlación con el porcentaje de la FC máxima alcanzada ($r=-0,34$; $p=0,868$), ni con el tiempo de ejercicio hasta ese punto ($r=0,048$; $p=0,813$).

V. DISCUSIÓN

V.- DISCUSIÓN

5.1.- Discusión para el primer objetivo

Hemos analizado la SmO_2 , mediante Humon Hex®, en dos grupos musculares: cuádriceps y gemelos y en dos situaciones distintas: en reposo y en el momento de la consecución del VO_2 máx en una prueba de esfuerzo realizada en tapiz continuo. Al comparar los valores de los hombres con los de las mujeres obtenemos que, en reposo, los valores de los hombres son significativamente mayores en ambos músculos y que en el esfuerzo máximo solo son mayores en los gemelos. La relación de los valores de SmO_2 con los valores antropométricos muestra una tendencia a una relación negativa con las variables relacionadas con la presencia de grasa y positiva con las de músculo.

No es habitual encontrar trabajos que coloquen dos dispositivos y recojan simultáneamente la SmO_2 en dos músculos que trabajan de forma sincrónica, esto se ha utilizado en estudios de electromiografía de superficie para analizar la fatiga y el grado de participación de los músculos en las diversas fases de los gestos deportivos (Mengarelli et al, 2018).

Hemos observado que, en reposo y en ambos sexos, los valores de la SmO_2 son similares mientras que tras el ejercicio el grupo muscular que más saturación pierde en los varones es el cuádriceps mientras que en las mujeres es en los gemelos dónde se produce una mayor disminución de la saturación. Esto podría deberse a la diferente masa muscular de estos grupos en cada sexo (Luiz de Marco et al, 2019) o a diferencias mecánicas en la carrera (Sawaya et al, 2018). En el cuádriceps se observa una mayor correlación entre las variables antropométricas y la SmO_2 en reposo que tras el ejercicio,

mientras que en los gemelos estas correlaciones se mantienen también en el ejercicio máximo lo que podría estar relacionado con la fatiga o la tolerancia al esfuerzo máximo.

El ejercicio se ha realizado corriendo en un tapiz continuo por lo que los dos músculos han colaborado en la ejecución del mismo (Tawa y Louw, 2018). La pendiente se ha mantenido constante en el 1% lo que no ha supuesto una sobrecarga especial sobre los músculos de la pantorrilla como ocurre en la carrera en rampa (Hindistan et al, 2020). Los resultados de este trabajo pueden servir para conocer mejor la participación de cada grupo muscular en la mecánica de la carrera y en la aparición de la fatiga; así hemos observado que en las mujeres aparece una mayor pérdida de saturación, de forma significativa, en los gemelos que en el cuádriceps. Al igual que Bastida et al (2016), creemos que el lugar de colocación del dispositivo debe ser específico para el tipo de ejercicio que se va a realizar ya que permite detectar los diferentes cambios de oxigenación producidos en el tejido muscular.

Las diferencias en la oxigenación entre hombres y mujeres han sido significativas en los gemelos y podrían estar relacionadas con la distinta masa muscular de cada grupo (Morton et al 2018). A más porcentaje de músculo, mayor porcentaje también de oxigenación y de forma inversa con el pánículo adiposo, a mayor grasa menor valor en la saturación. El diseño de estos dispositivos en el que la distancia entre el emisor y el detector de luz es casi igual a la profundidad de penetración en el músculo (Binzoni et al, 2010), hace que el tejido adiposo subcutáneo influya en gran parte en la intensidad de la señal NIRS (Kulkarni et al, 2018). No obstante, se han desarrollado algoritmos de corrección incluidos en algunos de los dispositivos NIRS (Niwayama et al, 2002).

Los pliegues del muslo y de la pierna se correlacionaron de forma negativa con los valores de SmO_2 , similar a lo demostrado por Zwaard et al (2016); mientras que los perímetros del muslo y de la pierna no presentan relaciones significativas con la saturación muscular de cuádriceps y gemelos, posiblemente por no discriminar entre masa grasa y masa muscular. Si hubiéramos contado con una población más heterogénea en la composición corporal se podrían haber hallado más diferencias, entre los sujetos, relacionadas con los porcentajes de grasa y músculo y con las mediciones antropométricas locales (pliegues y perímetros). Nosotros hemos relacionado la actividad muscular mediante el ejercicio de carrera en cita continua, pero otros autores como Yoshimatsu et al (2013) lo han hecho con ejercicios de fuerza concluyendo también que la tecnología NIRS puede usarse para ver las relaciones entre la masa muscular, la fuerza y el pánículo adiposo.

El IMC no mantiene una relación con la saturación posiblemente por no diferenciar entre grasa y músculo por lo que este es otro factor a tener en cuenta para no considerarlo como un buen predictor, ni de la obesidad ni de la condición física (Woolcott y Bergmann, 2018).

Es importante conocer el punto de oxigenación en el que se encuentra la musculatura implicada en una actividad. El empleo del NIRS permite desarrollar un plan de trabajo óptimo, tanto en el entrenamiento como en la rehabilitación, con el fin de establecer unas intensidades de ejercicio personalizadas. Con esta intención, el deportista puede saber hasta qué punto debe esforzarse sin exceder sus límites y así optimizar su trabajo; asociando esto con el deporte de alto nivel, Belloti et al (2013) relacionaron los

cambios en la SmO_2 con las mediciones de lactato para ver su correlación y ayudar a planificar el entrenamiento.

Al igual que en estudios previos se comprueba que la frecuencia cardiaca y el VO_2 son parámetros fisiológicos con una clara relación con la SmO_2 . Cuando el músculo se encuentra en fase aeróbica, al aumentar la FC aumenta o se mantiene la SmO_2 , disminuyendo cuando entra el tejido muscular en fase anaerobia (Crum et al, 2017)

Al contrario que otros estudios que han sido realizados con deportistas de alto nivel o con poblaciones con problemas de salud, el nuestro es sobre jóvenes sanos que hacen ejercicio físico de forma regular pero no competitiva por lo que una limitación de nuestros resultados es que solo serían aplicables a esta población pudiendo verse influenciados por el entrenamiento específico.

El dispositivo NIRS, es un buen medidor de los diferentes parámetros fisiológicos durante la práctica de un ejercicio físico intenso (Contreras-Briceño et al, 2019). Nos permite trabajar de una forma más dinámica con los deportistas en un área más extensa sin necesidad de estar en un laboratorio de medicina física y así poder realizar el entrenamiento que el deportista suele practicar en su día a día.

Tras nuestro estudio podemos concluir que en la valoración de la SmO_2 de deportistas recreacionales influye la localización del dispositivo y la masa grasa de la persona, siendo las diferencias entre hombres y mujeres mayores en los gemelos. En el instante del esfuerzo máximo la SmO_2 de los gemelos, mantiene una relación inversa con el contenido graso de la persona en general y con la extremidad inferior en particular.

5.2.- Discusión para el segundo objetivo

El objetivo del presente estudio consistió en analizar las diferencias de SmO_2 de los músculos cuádriceps e isquiosurales, en varias fases de una prueba de esfuerzo máximo según el sexo, en un total de 20 sujetos. Otros autores como Vitorio et al. (2018) y Born et al. (2017) utilizaron un número similar a nuestro trabajo con la finalidad de, por un lado, ver si hay efectos de las señales auditivas rítmicas durante la marcha sobre la activación cortical y la función cognitiva; por otro lado, conocer si la frecuencia cardiaca o la saturación tisular se ve afectada por el cambio continuo de intensidad en el ejercicio.

Nuestros resultados obtenidos, indicaron que los hombres tienen valores más altos de SmO_2 en los isquiosurales que las mujeres durante la fase de ejercicio máximo. En cambio, en la mayoría de bibliografía consultada (Contreras-Briceño et al, 2019; Louvaris et al, 2018; Jones y Cooper, 2018) sólo evaluaron la SmO_2 en hombres. Por lo que resulta difícil observar si hay diferencias en relación al sexo.

Se ha enfocado este trabajo en el análisis de los principales músculos antagonistas, presentes en la carrera, comparando la SmO_2 entre cuádriceps e isquiosurales de los sujetos en conjunto, en los que no se obtuvieron diferencias significativas en ninguna de las tres fases. Así que, no podemos comparar estos resultados con otros trabajos, ya que ninguno ha contrastado ambos músculos, centrándose la gran mayoría en el cuádriceps como Saito et al. (2018) y McLean et al. (2016).

A continuación, evaluamos el análisis de la SmO_2 durante tres fases diferentes: reposo, inicio del declive y el punto más alto de ejercicio. En cambio, la mayoría de bibliografía consultada, evaluaron la SmO_2 en el punto de máxima intensidad (Koga et al, 2015; Contreras-Briceño, 2019) o alta intensidad combinada con el reposo (Inglis et al, 2019; Louvaris et al, 2018).

Después, se ha buscado una relación entre las medidas antropométricas y la saturación de oxígeno. Tanto el pliegue como el contorno del muslo han mostrado una relación negativa con la SmO_2 en el momento de máximo esfuerzo, es decir, las personas que tienen un mayor contenido adiposo presentan valores más bajos de SmO_2 . En estudios previos (Quaresima et al, 2003; Vásquez-Bonilla et al, 2017) se ha visto que las mujeres presentan, por lo general, una mayor capa de grasa subcutánea, que puede provocar interferencias en la señal receptora y disminuir la fiabilidad.

La prueba de esfuerzo, se ha efectuado sobre un tapiz rodante con un protocolo incremental en rampa; porque es uno de los protocolos más ampliamente utilizados y permiten llegar al máximo esfuerzo del deportista en un tiempo relativamente breve (Boone y Bourgois, 2012). A pesar de ello, la mayoría de trabajos relacionados con el NIRS, han utilizado el cicloergometro, mediante una prueba de ciclismo incremental en un laboratorio. (Koga et al, 2015; Saito et al, 2018). Al ser gestos deportivos totalmente opuestos, no es adecuado hacer comparaciones con dos pruebas diferentes.

Respecto a las limitaciones de este estudio, nuestros sujetos son deportistas aficionados que presentan una condición física muy parecida; por lo que, al no disponer de sujetos altamente entrenados, no podemos asegurar que los valores de SmO_2 sean representativos de otras poblaciones. A pesar de ello, los valores obtenidos pueden servir como base para el estudio de este tipo de poblaciones.

La tecnología basada en la NIRS, podría emplearse para mejorar el rendimiento del deportista de forma no invasiva, y segura; ayudando a la planificación del entrenamiento acorde con las características fisiológicas y condición física de cada sujeto. También, es una forma de llevar un seguimiento de la oxigenación muscular y tener objetivos marcados a corto y medio plazo dirigidos a mejorar el rendimiento en el ejercicio físico.

5.3.- Discusión para el tercer objetivo

La medición de la SmO_2 mediante dispositivos NIRS es una técnica utilizada recientemente en la evaluación de la condición física (Paredes-Ruiz et al., 2020). Por esta razón, hemos realizado este trabajo para proporcionar nuevos conocimientos sobre su uso y sus resultados. Se ha utilizado un dispositivo Humon Hex® en una población de sujetos mayores de 45 años, practicantes de Marcha Nórdica, para medir la SmO_2 del cuádriceps mientras realizaban una prueba de esfuerzo en un tapiz rodante, la validez de este dispositivo ha sido previamente verificada por Farzam et al. (2018). Se dividió la prueba de esfuerzo en cuatro fases y así se comparó los valores de hombres y mujeres sin entrar en diferencias entre sexos.

La prueba de esfuerzo se ha realizado con un protocolo de rampa de Bruce modificado porque logra llegar al agotamiento del sujeto sin tener que correr. Además, esta prueba es más parecida a la que aplican en MN que los protocolos basados en el aumento de la velocidad en tapiz rodante (Pellegrini et al, 2018).

La mayoría de los estudios con NIRS se han realizado con jóvenes atletas masculinos, mientras que nosotros hemos estudiado adultos jóvenes, comparando ambos sexos, lo que nos permite aumentar la información disponible sobre la SmO_2 (Seshadri, et al, 2019). Nuestros resultados indican, como en el estudio de Wilkinson et al. (2019), que a medida que aumenta la intensidad del ejercicio, se produce una disminución de SmO_2 , hasta el punto en que aparece una inflexión. Esto se muestra en los gráficos de la tablet, con un cambio de color (Humon, 2020). Otros autores relacionan esta inflexión con el umbral de ventilación (Karatzano et al, 2010), aunque indican que existe una gran variabilidad individual debido al porcentaje de grasa, la edad y la actividad física (Zwaard et al, 2016).

También hemos encontrado que el tiempo de ejercicio en el que se produce este cambio es diferente entre los sujetos, mostrando un coeficiente de variación medio (30-36%), pero sin diferencias significativas entre los sexos; esto podría estar relacionado con la condición física de cada persona (Takaishi et al, 2002).

Desde el punto de inflexión, la SmO_2 continúa disminuyendo, a medida que la intensidad del ejercicio progresa, llegando al agotamiento. Hemos visto que el valor mínimo de SmO_2 también aparece en el momento en que se alcanza el VO_2 máximo. Inglis et al. (2017) afirman que esta situación no indicaría el límite superior de extracción de O_2 y que podría haber un área de reserva. Asimismo, con el ejercicio máximo, nuestros sujetos mostraban valores más altos que los citados por Yamamoto y otros (2014).

Al principio de la recuperación, después del punto de máximo esfuerzo, la frecuencia cardíaca comienza a disminuir, momento en el que se observa que la SmO_2 aumenta gradualmente, alcanzando valores más altos que los iniciales. Este efecto es similar al "principio de super compensación" del entrenamiento (Doering et al, 2019). No todos los autores valoran esta fase de recuperación (Contreras Briceño et al., 2019); sin embargo, creemos que puede ser interesante cuando se utiliza el dispositivo Humon Hex® para llevar a cabo el entrenamiento y programar el regreso a la calma.

Una limitación de este trabajo es que se ha realizado en una prueba de laboratorio en la que los participantes no pudieron utilizar los bastones y, por lo tanto, no es totalmente comparable con la actividad real del MN.

La utilidad de este estudio es la aplicabilidad del uso del dispositivo Humon Hex® en la formación de los practicantes de marcha nórdica. Pueden ajustar la intensidad de su esfuerzo a las señales recibidas y evitar el agotamiento, disminuyendo la intensidad cuando los valores de SmO_2 alcanzan el punto de inflexión. La ventaja de utilizar el

dispositivo en lugar del VO_2 máximo es que no es necesario realizar previamente una prueba de esfuerzo para regular la intensidad del ejercicio. Concluimos que no hay diferencias entre los sexos. La evolución de la SmO_2 es opuesta a la de la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, disminuyendo durante el ejercicio y aumentando en la recuperación.

5.4.- Discusión global

Tras la discusión de nuestros tres objetivos que se aportan globalmente en la presente tesis doctoral se ha mostrado la influencia de los distintos valores antropométricos y el sexo sobre la SmO_2 . Además, se observa que difieren los resultados dependiendo del músculo evaluado y la fase de la prueba de esfuerzo en la que se encuentra el sujeto; siendo el momento de máximo esfuerzo donde aparecen las mayores diferencias de porcentajes (Paredes-Ruiz et al, 2020).

Las limitaciones del presente trabajo, están relacionadas, fundamentalmente, con el número de sujetos participantes y las características específicas de cada grupo, por lo que no se pueden extrapolar dichos resultados a colectivos diferentes. A pesar de ello, los datos obtenidos forman un sustento de base, puesto que aportan información suficiente cuando se aplican a otras poblaciones, pues no hay estudios que proporcionen diferencias entre músculos en un mismo sujeto o entre sexos.

Otra de las limitaciones, ha consistido en la obtención de los datos, puesto que han sido hallados mediante pruebas de laboratorio y no en condiciones reales. Por lo que podrían compararse datos obtenidos en ambas situaciones, incluidos también test de campo.

A partir de aquí, las posibles líneas futuras de investigación pueden estar enfocadas a la correlación de la SmO_2 con otras variables ergoespirométricas, como pueden ser los umbrales respiratorios y también las mediciones realizadas en actividades reales, es decir, en el momento de la práctica deportiva habitual.

La recomendación en la aplicación práctica para los deportistas que emplean el dispositivo Humon Hex®, es que pueden seguir los valores de referencia aportados en el presente trabajo, ajustados a su sexo y al músculo principal que realiza la actividad. Sin olvidar, la interferencia que puede presentar el pániculo adiposo y la obesidad interrumpiendo la señal del dispositivo.

VI. CONCLUSIONES

VI.- CONCLUSIONES

- La evaluación de la SmO_2 de los estudiantes está influenciada por la ubicación del dispositivo y la masa grasa del sujeto, con mayores diferencias entre varones y mujeres en los gemelos. En el momento de máximo esfuerzo, la SmO_2 de los gemelos mantiene una relación inversa con el contenido de grasa de la persona en general y con el miembro inferior en particular.
- La saturación de oxígeno de los isquiosurales en el esfuerzo máximo es diferente entre varones y mujeres, mientras que no existen diferencias en las otras fases del ejercicio. Así mismo, no hay diferencias en la oxigenación entre ambos músculos. Aunque, sí aparece una correlación de la SmO_2 con las medidas antropométricas del muslo.
- No hay diferencias entre sexos. La evolución del SmO_2 es opuesta a la de la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno, disminuyendo durante el ejercicio y aumentando en la recuperación.

VII. REFERENCIAS

VII.- REFERENCIAS

Abaïdia, A. E., Cosyns, S., Dupont, G. (2019). Muscle oxygenation induced by cycling exercise does not accelerate recovery kinetics following exercise-induced muscle damage in humans: A randomized cross-over study. *Resp physiol neurobi.* 266(1): 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2019.05.005>

Bahr, R., Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J sports med.* 39(6): 24-329. <https://dx.doi.org/10.1136%2Fbjsm.2005.018341>

Baker, W. B., Li, Z., Schenkel, S. S., Chandra, M., Busch, D. R., Englund, E. K., et al (2017). Effects of exercise training on calf muscle oxygen extraction and blood flow in patients with peripheral artery disease. *J appl physiol.* 123(6): 1599-1609. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00585.2017>

Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C.D., Pino Ortega, J. (2016). Effects of Recovery Type in Muscular Oxygenation During Squat Exercise. *Kronos.* 2(15): 1-12. <http://hdl.handle.net/11268/6144>

Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., Wasserman, K. (1995). Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 70(6): 487-92. <https://doi.org/10.1007/bf00634377>

Bellotti, C., Calabria, E., Capelli, C., Pogliaghi, S. (2013). Determination of maximal lactate steady state in healthy adults: can NIRS help. *Med Sci Sports Exerc.* 45 (6): 1208-16. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3182828ab2>

Bhambhani, Y. N., Buckley, S. M., Susaki. (1997). Detection of ventilatory threshold using near infrared spectroscopy in men and women. *Med Sci Sports Exerc.* 29(3): 402-09. <https://doi.org/10.1097/00005768-199703000-00017>

Binzoni, T., Cooper, C.E., Wittekind, A.L., Beneke, R., Elwell, C.E., Van De Ville, D., et al. A new method to measure local oxygen consumption in human skeletal muscle during dynamic exercise using near-infrared spectroscopy. *Physiol Meas.* 31 (9): 1257-69. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/9/014>

Boone J, Bouckaert J, Barstow TJ, Bourgois J. (2012) Influence of priming exercise on muscle deoxy [Hb + Mb] during ramp cycle exercise. *Eur J Appl Physiol.* 112(3): 1143-52. [doi:10.1007/s00421-011-2068-z](https://doi.org/10.1007/s00421-011-2068-z)

Boone, J., Bourgois, J. (2012). The oxygen uptake response to incremental ramp exercise: methodological and physiological issues. *Sports Med.* 42(6): 511-26. <https://doi.org/10.2165/11599690-000000000-00000>

Born, D.P., Stöggel, T., Swarén, M., Björklund, G. (2017). Near-Infrared Spectroscopy: More accurate than heart rate for monitoring intensity in running in hilly terrain. *Int J Sports Physiol Perform.* 12(4): 440-47. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0101>

Buchheit, M., Ufland, P. (2011). Effect of endurance training on performance and muscle reoxygenation rate during repeated-sprint running. *Eur J appli physiol.* 111(2): 293-01. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1654-9>

Cabañas M, Esparza F. Compendio de Cineantropometría. 1th.ed. Madrid: CTO Editorial; 2009.

Clark, I.E., Goulding, R.P., DiMenna, F.J., Bailey, S.J., Jones, M.I., Fulford J., et al. (2019). Time-trial performance is not impaired in either competitive athletes or untrained individuals following a prolonged cognitive task. *Eur J appl physiol.* 119(1): 149-161. <http://doi.org/10.1123/jsep.2013-0249>

Contreras-Briceño, F., Espinosa-Ramirez, M., Hevia, G., Llambias, D., Carrasco, M., Cerda F., et al. (2019). Reliability of NIRS portable device for measuring intercostal muscles oxygenation during exercise. *J Sport Sci.* 37 (23): 2653-59. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1653422>

Cournoyer, A., Cossette, S., Paquet, J., Daoust, R., Marquis, M., Notebaert, É., et al. (2019). Association Between the Quantity of Subcutaneous Fat and the Inter-Device Agreement of 2 Tissue Oximeters. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia.* 33(11): 2989-94. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.01.050>

Crum, E.M., O'Connor, W.J., Van Loo, L., Valckx, M., Stannard, S.R. (2017). Validity and reliability of the Moxy oxygen monitor during incremental cycling exercise. *J Physiol Sci.* 17(8): 1037-43. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1330899>

Darnell, R. E., Harvey, J. J., Fox, G. P., Fletcher, M. T., Wainaina, J., Wanjuki, I., Turner, W. J. (2018). NIRS calibration of aflatoxin in maize. *Aust J Chemistry.* 71(11): 868-73.

Dascombe, B., Laursen, P., Nosaka, K., Polglaze, T. (2013). No effect of upper body compression garments in elite flat-water kayakers. *Eur J sport sci.* 13(4): 341-49. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.606842>

Del Prado Alcoreza, J. R. N., Gutiérrez, A. O. (2016). Estabilización temprana del recién nacido pretérmino menor de 1,200 gramos. *Acta Medica Grupo Ángeles,* 14(1), 25-31.

- Delagarde, H., Ouadraougo, N., Grall, S., Macchi, L., Roy, P. M., Abraham, P., et al. (2015). Remote ischaemic preconditioning in intermittent claudication. *Arch cardiovasc dis.* 108(10): 472-79. <https://doi.org/10.1016/j.acvd.2015.03.004>
- Dias, V.W., Thomas, C., Passerieux, E., Hugon, G., Pillard, F., Andrade, A., et al. (2018). Impaired oxygen demand during exercise is related to oxidative stress and muscle function in Facioscapulohumeral Muscular Dystrophy. *Phy Med Exp.* 1(1): 1-14. <https://doi.org/10.1002/j.2617-1619.2018.tb00002.x>
- Doering, T. M., Coxa, G. R., Aretac, J. L., Coffeya, V. G. (2019). Repeated muscle glycogen supercompensation with four days recovery between exhaustive exercise. *J Sci Med Sport.* 22(1): 907-11. doi: 10.1016/j.jsams.2019.03.009
- Durduran, T., Zhou, C., Edlow, B. L., Yu, G., Choe, R., Kim, M. N., et al. (2009). Transcranial optical monitoring of cerebrovascular hemodynamics in acute stroke patients. *Opt express.* 17(5): 3884-3902. <https://doi.org/10.1364/oe.17.003884>
- Esteve-Lanao, J., Foster, C., Seiler, S., Lucia, A. (2007). Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res.* 21(3): 943-49. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1519%2FR-19725.1>
- Farzam, P., Starkweather, Z., Franceschini, M. A. (2018). Validation of a novel wearable, wireless technology to estimate oxygen levels and lactate threshold power in the exercising muscle. *Physiol Reports.* 6(7): e13664. doi: 10.14814/phy2.13664
- Ferrari, M., Mottola, L., Quaresima, V. (2004). Principles, techniques and limitations of near infrared spectroscopy. *J Appl Physiol.* 29(4): 463-87. <https://doi.org/10.1139/h04-031>
- Fletcher, J.R., Esau, S.P., Macintosh, B.R. (2009). Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *J Appl Physiol.* 107(6): 1918-22. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00307.2009>
- Fryer, S., Stone, K., Dickson, T., Wilhelmsen, A., Cowen, D., Faulkner, J., et al. (2019). The effects of 4 weeks normobaric hypoxia training on microvascular responses in the forearm flexor. *J sports sci.* 37(11): 1235-41. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1554177>
- Garnsworthy, P. C., Wiseman, J., Fegeros, K. (2000). Prediction of chemical, nutritive and agronomic characteristics of wheat by near infrared spectroscopy. *J Agri Sci.* 135(4): 409-17.
- Gepner, Y., Wells, A. J., Gordon, J. A., Arroyo, E., Varanoske, A. N., Coker, N. A., et al. (2019). Differences in muscle oxygenation between young and middle-aged recreationally active men during high-volume resistance exercise. *Kinesiol.* 51(1): 3-11. doi: 10.26582/k.51.1.4

Gepner, Y., Wells, A. J., Gordon, J. A., Arroyo, E., Varanoske, A. N., Coker, N. A., et al. (2019). Differences in muscle oxygenation between young and middle-aged recreationally active men during high-volume resistance exercise. *Kinesiology: Inter J fund appli kinesiol.* 51(1): 3-11. <https://doi.org/10.26582/k.51.1.4>

Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., González-Custodio, A., Olcina, G., Pino-Ortega, J. (2020). Using an inertial device (wimu pro) to quantify neuromuscular load in running: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Type of Surface and Device Location. *The J Strength Cond Res.* 34(2): 365-373. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003106>

Gruartmoner, G., Mesquida, J., Masip, J., Martínez, M. L., Villagra, A., Baigorri, F., et al. (2014). Thenar oxygen saturation during weaning from mechanical ventilation: an observational study. *Eur Respir J.* 43(1): 213-220. <https://doi.org/10.1183/09031936.00126312>

Hamaoka, T., McCully, K. K. (2019). Review of early development of near-infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and oxidative metabolism. *J Physiol Sci.* 69(1): 799–811. doi: 10.1007/s12576-019-00697-2

Hesford, C. M., Laing, S. J., Cardinale, M., Cooper, C. E. (2012). Asymmetry of quadriceps muscle oxygenation during elite short-track speed skating. *Med Sci Sports Exerc.* 44(3), 501-08. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31822f8942>

Hindistan, I.E., Ozdogan, E.C., Bilgin, G., Colak, O.H., Ozkaya, Y.G. (2020). Effects of sprint interval training on sloping surfaces on aerobic and anaerobic power. *Biomedical Human Kinetics.* 12(2): 41-50. <https://doi.org/10.2478/bhk-2020-0006>

Howley, E.T., Bassett, D.R., Welch, H.G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med sci sports exercise.* 27(1): 1292-92.

Hübscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L., Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Med Sci Sport Exerc.* 42(3): 413-421. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181b88d37>

Humon io (2020). The Humon training zones. Retrieved 02/03, 2020, from <https://humon.io/use-case/>

Ikossi, D. G., Knudson, M. M., Morabito, D. J., Cohen, M. J., Wan, J. J., Khaw, L, et al. (2006). Continuous muscle tissue oxygenation in critically injured patients: a prospective observational study. *J. Trauma Acute Care Surg.* 61(4), 780-790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02403>

- Inglis, E.C., Iannetta, D., Murias, J. M. (2017). The plateau in the NIRS derived (HHb) signal near the end of a ramp incremental test does not indicate the upper limit of O₂ extraction in the vastus lateralis. *Am J Physiol Regul Integ Comp Physiol.* 31(3): 723-29. doi: 10.1152/ajpregu.00261.2017
- Inglis, E.C., Iannetta, D., Murias, J.M. (2019). Evaluating the NIRS-derived microvascular O₂ extraction “reserve” in groups varying in sex and training status using leg blood flow occlusions. *PLoS one.* 14 (7): 1-33. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220192>
- Jones, B., Cooper, C.E. (2018). Near Infrared Spectroscopy (NIRS) observation of vastus lateralis (muscle) and prefrontal cortex (brain) tissue oxygenation during synchronised swimming routines in elite athletes. *Adv Exp Med Biol.* 107(2): 111-17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5_18
- Jones, B., Cooper, C.E. (2018). Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Observation of Vastus Lateralis (Muscle) and Prefrontal Cortex (Brain) Tissue Oxygenation During Synchronised Swimming Routines in Elite Athletes. *Adv Exp Med Biol.* 107(2): 111-17. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91287-5_18
- Jones, S., Chiesa, S. T., Chaturvedi, N., Hughes, A. D. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Art research.*16(1): 25-33. <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.artres.2016.09.001>
- Karatzanos, E., Paradisis, G., Zacharogiannis, E., Tziortzis, S., Nanas, S. (2010). Assessment of ventilatory threshold using near-infrared spectroscopy on the gastrocnemius muscle during treadmill running. *Inter J Indus Ergo.* 40: 206-11. doi: 10.1016/j.ergon.2009.02.003
- Karlsson, S., Anesäter, E., Fransson, K., Andell, P., Persson, J., Erlinge, D. (2019). Intracoronary near-infrared spectroscopy and the risk of future cardiovascular events. *Open heart.* 6(1): 1-6. <http://dx.doi.org/10.1136/openhrt-2018-000917>
- Keramidas, M. E., Kounalakis, S. N., Geladas, N. D. (2012). The effect of interval training combined with thigh cuffs pressure on maximal and submaximal exercise performance. *Clin physiol funct imaging.* 32(3): 205-13. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01078.x>
- Koga, S., Barstow, T.J., Okushima, D, Rossiter, H.B., Kondo, N, Ohmae, E., et al. (2015). Validation of a high-power, time-resolved, near-infrared spectroscopy system for measurement of superficial and Deep muscle deoxygenation during exercise. *Eur J Appl Physiol.* 118 (11): 1435-42. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01003.2014>

- Koláčková, P., Růžičková, G., Gregor, T., Šišperová, E. (2015). Quick method (FT-NIR) for the determination of oil and major fatty acids content in whole achenes of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.). *J Sci Food Agricul.* 95(11): 2264-70. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6945>
- Kulkarni, A.S., Brutsaert, E.F., Anghel, V., Zhang, K., Bloomgarden, N., Pollak, M., et al. (2018). Metformin regulates metabolic and nonmetabolic pathways in skeletal muscle and subcutaneous adipose tissues of older adults. *Aging cell.* 17(2): 1-5. <https://doi.org/10.1111/accel.12723>
- Kuroiwa, M., Fuse, S., Amagasa, S., Kime, R., Endo, T., Kurosawa, Y., Hamaoka, T. (2019). Relationship of total hemoglobin in subcutaneous adipose tissue with whole-body and visceral adiposity in humans. *Applied Sciences.* 9(12): 2442. <https://doi.org/10.3390/app9122442>
- Kvisselgaard, A. D., Mosbech, H. F., Fransson, S., Garvey, L. H. (2018). Risk of immediate-type allergy to local anesthetics is overestimated results from 5 years of provocation testing in a Danish allergy clinic. *J Allergy Clin Immu.* 6(4): 1217-23. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2017.08.010>
- Langhammer, B., Lindmark, B., Stanghelle, J. K. (2006). The relation between gait velocity and static and dynamic balance in the early rehabilitation of patients with acute stroke. *Adv Physiother.* 8(2): 60-65. <https://doi.org/10.1080/14038190600621730>
- Lima, A., Bakker, J. (2011). Near-infrared spectroscopy for monitoring peripheral tissue perfusion in critically ill patients. *Rev Bras Ter Intensiva.* 23(3): 341-51. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-507X2011000300013>
- Louvaris, Z., Habazettl, H., Wagner, H., Zakyntinos, S., Wagner, P., Vogiatzis I. (2018). Near-infrared spectroscopy using indocyanine green dye for minimally invasive measurement of respiratory and leg muscle blood flow in patients with COPD. *J Appl Physiol,* 125(3): 947-959. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00959.2017>
- Luck, J. C. (2019). Effects of Peripheral Revascularization on Blood Pressure and Calf Muscle Oxygen Saturation in Peripheral Artery Disease (Doctoral dissertation, Appalachian State University).
- Luiz-de-Marco, R., Kemper, H., Agostinete, R. R., Werneck, A. O., Maillane-Vanegas, S., Faustino-da-Silva, et al. (2019). Sports participation and muscle mass affect sex-related differences in bone mineral density between male and female adolescents: A longitudinal study. *Sao Paulo Med J.* 137(1): 75-81. <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2018.031040119>
- Manetos, C., Dimopoulos, S., Tzani, G., Vakrou, S., Tasoulis, A., Kapelios, C., et al. (2011). Skeletal muscle microcirculatory abnormalities are associated with exercise intolerance, ventilatory inefficiency, and impaired autonomic control in heart failure. *J heart lung transplantation.* 30(12): 1403-08. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2011.08.020>

- Manfredini, F., Lamberti, N., Malagoni, A. M., Felisatti, M., Zuccalà, A., Torino, C., et al. (2015). The role of deconditioning in the end-stage renal disease myopathy: physical exercise improves altered resting muscle oxygen consumption. *Am J nephrol.* 41(5): 329-36. <https://doi.org/10.1159/000431339>
- McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G., Raglin, J. S., Osborne, M., Rattray, B. (2017). Elite sprint swimming performance is enhanced by completion of additional warm-up activities. *J sports sci.* 35(15): 1493-99. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1223329>
- McLean S., Kerhervé, H., Lovell, G.P., Gorman, A.D., Solomon, C. (2016). The effect of recovery duration on vastus lateralis oxygenation, heart rate, perceived exertion and time motion descriptors during small sided football games. *PloS one.* 11(2): 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150201>
- Mengarelli, A., Gentili, A., Strazza, A., Burattini, L., Fioretti, S., Di Nardo, F. (2018). Co-activation patterns of gastrocnemius and quadriceps femoris in controlling the knee joint during walking. *J Electromyogr Kines.* 42(1): 117-22. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.07.003>
- Morton, R.W., Murphy, K.T., McKellar, S.R., Schoenfeld, B.J., Henselmans, M., Helms A.A., et al. (2018). A systematic review, meta-analysis and metaregression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Brit J Sports Med.* 52(6): 376-84. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608>
- Murrow, J. R., Brizendine, J. T., Djire, B., Young, H. J., Rathbun, S., Nilsson, K. R., et al. (2019). Near infrared spectroscopy-guided exercise training for claudication in peripheral arterial disease. *Eur J prev cardiol.* 26(5): 471-80. <https://doi.org/10.1177/2047487318795192>
- Nagasawa T. (2012). Effect of exercise intensity on oxygen consumption kinetics in non-exercising muscle during exercise. *Clin physiol funct imaging.* 32(3): 172-78. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01073.x>
- Niwayama, M., Yamamoto, K., kohata, D., Hirai, K., Kudo, N., Hamaoka, T. (2002). A 200-channel imaging system of muscle oxygenation using CW near infrared spectroscopy. *Trans Inf Syst.* 85 (1): 115-23. <https://doi.org/10.1117/1.2805437>
- Oueslati, F., Boone, J., Ahmaidi, S. (2016). Respiratory muscle endurance, oxygen saturation index in vastus lateralis and performance during heavy exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 227 (1): 41-7. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.02.008>
- Özyener, F. (2002). Evaluation of intra-Musclar oxygenation during exercise in humans. *J Sports Sci Med.* 1(1):15-19. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3957576/>

- Paradis-Deschênes, P., Joanisse, D. R., Billaut, F. (2016). Ischemic preconditioning increases muscle perfusion, oxygen uptake, and force in strength-trained athletes. *Appl physiol nutrition, a metabol.* 41(9): 938-44. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0561>
- Paredes-Ruiz, M. J., Jodar-Reverte, M., Ferrer-Lopez, V., Martínez-González-Moro, I. (2020). Quadriceps Muscle Oxygenation during a Maximum Stress Test in Middle-Aged Athletes. *Monten. J. Sports Sci. Medicina.* 9(2): 43-9. <https://doi.org/10.26773/mjssm.200908>
- Pellegrin, B., Boccia, G., Zoppirolli, C., Rosa, R., Stella, F., Bortolan, L. et al. (2018). Muscular and metabolic responses to different Nordic walking techniques, when style matters. *PloS one.* 13(4): e0195438. doi: 10.1371/journal.pone.019543
- Peng, G., Bing-Hong, G. (2018). Correlation between muscle oxygen and cardiopulmonary of young cyclists at ventilation threshold. *Exerc Bioc Rev.* 1(3): 23-5. <https://doi.org/10.14428/ebr.v1i3.11703>
- Pratt, C. (2018). Muscle oxygenation patterns during a maximal incremental cycling and 20-km time trials (Doctoral dissertation). <http://digital.library.wisc.edu/1793/78858>
- Quaresima, V., Lepanto, R., Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *J Sports Med Phys Fitness.* 43(1): 1-13.
- Ramirez, J. A., Posada, J. M., Handa, I. T., Hoch, G., Vohland, M., Messier, C., et al. (2015). Near-infrared spectroscopy (NIRS) predicts non-structural carbohydrate concentrations in different tissue types of a broad range of tree species. *Meth Ecol Evolution.* 6(9): 1018-25. <https://doi.org/10.1255%2Fjnirs.1199>
- Ramírez-García, S., Carranza-Castro, P. H., Gutiérrez-Salinas, J., García-Ortiz, L., Hernández-Rodríguez, S. (2012). Aplicación en medicina de la espectroscopia de infrarrojo cercano. *Med Int Mex.* 28(4): 365-70.
- Rojas, R. G. (2014). Estado actual del NIRS en cirugía cardíaca. *Rev Mex Anesthesiol.* 37(1): 133-37.
- Ryan, T. E., Brophy, P., Lin, C. T., Hickner, R. C., Neuffer, P. D. (2014). Assessment of in vivo skeletal muscle mitochondrial respiratory capacity in humans by near-infrared spectroscopy: a comparison with in situ measurements. *J Physiol.* 592(15): 3231-41. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.274456>
- Saito, A., Goda, M., Yamagishi, T., Kawakami Y. (2018). Riding posture affects quadriceps femoris oxygenation during an incremental cycle exercise in cycle-based athletes. *Physiol Reports.* 6 (16): 1-7. <https://doi.org/10.14814/phy2.13832>

- Sawaya, Y., Ishizaka, M., Kubo, A., Sadakiyo, K., Yakabi, A., Sato, T., et al. (2018). Correlation between skeletal muscle mass index and parameters of respiratory function and muscle strength in young healthy adults according to gender. *J Phys Ther Sci.* 30(12): 1424-7. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.1424>
- Scheeren, T.W., Schober, P., Schwarte, L.A. (2012). Monitoring tissue oxygenation by near infrared spectroscopy (NIRS): background and current applications. *J Clin Monit Comput.* 26(4): 279-87. <https://doi.org/10.1007/s10877-012-9348-y>
- Seiler, K. S., Kjerland, G. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution?. *Scand med sci sports.* 16(1): 49-56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman C. A., et al. (2019). Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete. *NPJ Digital Medicine.* 2(71): 1-10. doi :10.1038/s41746-019-0149-2
- Singh, C. B., Paliwal, J., Jayas, D. S., White, N. D. G. (2006). Near-infrared spectroscopy: Applications in the grain industry. In 2006 ASAE Annual Meeting (p. 1). *Biol Eng Trans.*
- Smith, J. R., Broxterman, R. M., Ade, C. J., Evans, K. K., Kurti, S. P., Hammer, S. M., et al. (2016). Acute supplementation of N-acetylcysteine does not affect muscle blood flow and oxygenation characteristics during handgrip exercise. *Physiol reports.* 4(7): e12748. <https://doi.org/10.14814/phy2.12748>
- Smith, K. J., Billaut, F. (2012). Tissue oxygenation in men and women during repeated-sprint exercise. *Inter J sports physiol perform.* 7(1): 5967. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.1.59>
- Snyder, A. C., Parmenter, M. A. (2009). Using near-infrared spectroscopy to determine maximal steady state exercise intensity. *J Strength Cond Res.* 23(6): 1833- 40. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181ad3362>
- Spahn, G., Felmet, G., Hofmann, G. O. (2013). Traumatic and degenerative cartilage lesions: arthroscopic differentiation using near-infrared spectroscopy (NIRS). *Arch orthop trauma surg.* 133(7): 997-1002. <https://doi.org/10.1007/s00402-013-1747-0>
- Stöcker, F., Von Oldershausen, C., Paternoster, F. K., Schulz, T., Oberhoffer, R. (2017). End-exercise $\Delta\text{HHb}/\Delta\text{VO}_2$ and post-exercise local oxygen availability in relation to exercise intensity. *Clinic physiol funct imaging.* 37(4): 384-93. <https://doi.org/10.1111/cpf.12314>
- Takeshima, N., Islam, M. M., Rogers, M. E., Rogers, N. L., Sengoku, N., Koizumi, D., et al. (2013).

Effects of nordic walking compared to conventional walking and band-based resistance exercise on fitness in older adults. *J Sports Sci Med.* 12(1). 422-30.

Tawa, N., Louw, Q. (2018). Biomechanical factors associated with running economy and performance of elite Kenyan distance runners: A systematic review. *J Bodyw Mov Ther.* 22(1): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.11.004>

Uribe Laso, M.V. (2014). Inbody. Bilbao: *Microcaya*. <https://www.composicion-corporal-inbody.com/InBody-120.html>.

Urrutia G, Bonfill X. (2010) Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clínica.*135 (11): 507-11.

Van der Zwaard, S., De Ruiter, C.J., Noordhof, D.A., Sterrenburg, R., Bloemers, F.W., De Koning, J. J., et al. (2016). Maximal oxygen uptake is proportional to muscle fiber oxidative capacity, from chronic heart failure patients to professional cyclists. *J Appl Physiol.* 121(3): 636-45. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00355.2016>

Vasquez-Bonilla, A.A., Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., Martínez-Guardado, I., Timón, R., Olcina, G. (2017). Evaluation of physiological parameters depending on muscle oxygen saturation in overweight and obesity. *Int J sport sci.* 13 (47): 63-77.

Vitorio, R., Stuart, S., Gobbi, L.T.B., Rochester, L., Alcock, L., Pantall, A. (2018). Reduced gait variability and enhanced brain activity in older adults with auditory cues: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. *Neurorehabil Neural Repair.* 32(11): 976-87. <https://doi.org/10.1177/1545968318805159>

Watzman, H. M., Kurth, C. D., Montenegro, L. M., Rome, J., Steven, J. M., Nicolson, S. C. (2000). Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology: TheJ American Society Anesthesiol.* 93(4): 947-53. <https://doi.org/10.1097/00000542-200010000-00012>

Wilkinson, T. J, White, A. E. M., Nixon, D, G, D., Gould, D. W., Watson, E., L. & Smith, A. C. (2019). Characterising skeletal muscle hemoglobin saturation during exercise using near-infrared spectroscopy in chronic kidney disease. *J Clin Exp Nephrol.* 23(1): 32-42. doi: 10.1007/s10157-018- 1612-0

Williamson, S., Sanni, A.A., McCully, K.K. (2019). The influence of muscle length on gastrocnemius and vastus lateralis muscle oxygen saturation and endurance. *J Electromyogr Kinesiol.* 49 (1): 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.102358>

- Willingham, T.B., McCully, K.K. (2017). In vivo assessment of mitochondrial dysfunction in clinical populations using near-Infrared spectroscopy. *Front Physiol.* 8(1): 1-11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00689>
- Woolcott, O.O., Bergman, R.N. (2018). Relative fat mass (RFM) as a new estimator of whole-body fat percentage - A cross-sectional study in American adult individuals. *Sci Rep.* 8(1): 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51701-z>
- Yamamoto, J., Harada T., Okada, A. (2014). Difference in Physiological Components of VO_2 Max during Incremental and Constant Exercise Protocols for the Cardiopulmonary Exercise Test. *J Phys Ther Sci.* 26(1):1283-86. doi: 10.1589/jpts.26.1283
- Yeo, S. S., Chang, P. H., Jang, S. H. (2013). The cortical activation differences between proximal and distal joint movements of the upper extremities: a functional NIRS study. *Front Hum Neurosci.* 32(4): 861-66. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00049>
- Yoshimatsu, T., Yoshida, D., Shimada, H., Komatsu T. (2013). Relationship between near-infrared spectroscopy and subcutaneous fat and muscle thickness measured by ultrasonography in Japanese community-dwelling elderly. *Geriatr Gerontol Int.* 13(2): 351-57. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2012.00906.x>
- Zheng, F., Sheinberg, R., Yee, M. S., Ono, M., Zheng, Y., Hogue, C. W. (2013). Cerebral near-infrared spectroscopy (NIRS) monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients and neurologic outcomes: a systematic review. *Anesth Analg.* 116(3): 663-76. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e318277a255>

VIII. ANEXOS

VIII.- ANEXOS

ANEXO 1. Informe de la comisión de ética

UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Vicerrectorado de
Investigación y Transferencia

CEI

Comisión de
Ética de
Investigación

CMM
27 31
CAMPLUS MARE NOSTRUM

INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
DE LA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

Jaime Peris Riera, Catedrático de Universidad y Secretario de la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia,

CERTIFICA:

Que D.^a M.^a José Paredes Ruiz ha presentado la memoria de trabajo de la Tesis Doctoral titulada "*Aportaciones al estudio de la oxigenación muscular durante el ejercicio físico*", dirigida por D. Ignacio Martínez González-Moro y D. Vicente Ferrer López, a la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia.

Que dicha Comisión analizó toda la documentación presentada, y de conformidad con lo acordado el día diez de abril de dos mil diecinueve¹, por unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE, desde el punto de vista ético de la investigación.

Y para que conste y tenga los efectos que correspondan firmo esta certificación con el visto bueno del Presidente de la Comisión.

Vº Bº
EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN
DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD DE MURCIA

Fdo.: Francisco Esquembre Martínez

ID: 2360/2019

¹A los efectos de lo establecido en el art. 19.5 de la Ley 40/2015 de 1 de octubre de Régimen Jurídico del Sector Público (B.O.E. 02-10), se advierte que el acta de la sesión citada está pendiente de aprobación



Código seguro de verificación: EUxPMqpl-9J9/c+m9-+WYxyaZA-VVIukW7B

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 27.3 c) de la Ley 39/2016, de 2 de octubre. La autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: <https://sede.ucm.es/verificador>

ANEXO II. Consentimiento informado

ANEXO I

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

D./Dña de.... años de edad y con DNI nº, manifiesta que ha sido informado/a sobre los beneficios que podría suponer mi participación para cubrir los objetivos del Proyecto de Investigación/Tesis Doctoral titulado "Aportaciones al estudio de la oxigenación muscular durante el ejercicio físico mediante espectrometría de infrarrojo cercano", dirigido por María José Paredes Ruiz, realizado en las instalaciones del Laboratorio de Investigación Biosanitaria (LAIB). Correspondiente a los despachos asignados al grupo de investigación Ejercicio Físico y Rendimiento Humano.

El estudio ha sido financiado por fondos propios del grupo de investigación. Si tuviera alguna cuestión que plantear acerca del estudio puede ponerse en contacto con los investigadores a las direcciones que se proporcionan a continuación; mariajose.paredes1@um.es, ignacionmgm@um.es.

He sido informado/a de los posibles perjuicios que la participación en dicho proyecto puede tener sobre mi bienestar y salud al haber leído la hoja de información al participante sobre el estudio citado.

He sido también informado/a de que mis datos personales serán sometidos a tratamiento en virtud de su consentimiento con fines de investigación científica por la Universidad de Murcia. El plazo de conservación de los datos será el mínimo indispensable para asegurar la realización del estudio o proyecto. No obstante, mis datos identificativos, para garantizar condiciones óptimas de privacidad, y cuando el procedimiento del estudio lo permita, podrían ser sometidos a anonimización o seudoanonimización. En todo caso, la información identificativa que se pudiese recabar será eliminada cuando no sea necesaria.

He sido informado/a de que para cualquier consulta relativa al tratamiento de sus datos personales en este estudio o para solicitar el acceso, rectificación, supresión, limitación u oposición al tratamiento podré dirigirme a la dirección protecciondedatos@um.es. Asimismo, he sido informado/a de mi derecho a presentar una reclamación ante la Agencia Española de Protección de Datos.

He sido también informado que puedo abandonar en cualquier momento mi participación en el estudio sin dar explicaciones y sin que ello me suponga perjuicio alguno.

Se me ha entregado una hoja de información al participante y una copia de este consentimiento informado, fechado y firmado.

Tomando ello en consideración, otorgo mi consentimiento a que esta recogida de datos tenga lugar y sea utilizada para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.

Murcia, a de de 20....

Fdo. D/Dña _____

ANEXO III. Producción científica para la Tesis Doctoral.

Comunicaciones a congresos

1. Oxigenación muscular de cuádriceps y gemelos previa a la realización de un ejercicio físico. Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Ferrer-López V, Martínez-González-Moro I. VIII Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte. Reus en noviembre, 2019.
2. Análisis de la bilateralidad de la oxigenación muscular del cuádriceps durante una prueba de esfuerzo. Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Ferrer-López V, Martínez-González-Moro I. VIII Jornadas Nacionales de Medicina del Deporte. Reus en noviembre, 2019.
3. Effects of gender on muscle oxygen saturation of thigh muscles during maximal treadmill exercise testing. Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Martínez-González-Moro I, Ferrer-López V. The 17th Annual Scientific Conference of Montenegrin Sports Academy “Sport, Physical Activity and Health: Contemporary Perspectives”. Dubronik, 2020.
4. Quadriceps Muscle Oxygenation during a Maximum Stress Test in Middle-Aged Athletes. Paredes-Ruiz MJ, Jódar-Reverte M, Ferrer-López V, Martínez-González-Moro I. The 17th Annual Scientific Conference of Montenegrin Sports Academy “Sport, Physical Activity and Health: Contemporary Perspectives”. Dubronik, 2020.

Publicaciones aceptadas

Paredes-Ruiz, M. J., Jodar-Reverte, M., Ferrer-Lopez, V., Martínez-González-Moro, I. (2020). Quadriceps Muscle Oxygenation during a Maximum Stress Test in Middle-Aged Athletes. *Monten. J. Sports Sci. Medicina*. *9*(2): 43-9.

Paredes-Ruiz, M. J., Jodar-Reverte, M., Martínez-González-Moro, I., Ferrer-Lopez, V. Effects of gender on muscle oxygen saturation of thigh muscles during maximal treadmill exercise testing. Aceptato pendiente de publicación en la revista científica *Sport Mont*. <https://doi.org/10.26773/mjssm.200908>

Publicación pendiente de aceptación

Paredes-Ruiz, M. J., Jodar-Reverte, M., Ferrer-Lopez, V., Martínez-González-Moro, I. Anthropometric factors related to muscle oxygenation of the quadriceps and gastrocnemius obtained by Near Infrared Spectroscopy (NIRS) during maximal aerobic effort. Remitido a la revista: *Revista Brasileira de Medicina do Esporte (RBME)*